

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

Avaliação de Parâmetros de Desempenho de Rede de
Sensores Sem Fio em Casa de Vegetação para Cultivo
Hidropônico de Morangos

ELAINE CANGUSSÚ DE SOUZA ALVES

CAMPINAS

Setembro

2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

Avaliação de Parâmetros de Desempenho de Rede de
Sensores Sem Fio em Casa de Vegetação para Cultivo
Hidropônico de Morangos

Dissertação de Mestrado submetida à
banca de Pós-Graduação para a obtenção
do título de Mestre em Engenharia
Agrícola, na área de concentração em
Máquinas Agrícolas.

ELAINE CANGUSSÚ DE SOUZA ALVES

ORIENTADOR: Prof^a. Dr^a. BÁRBARA JANET TERUEL MEDEROS

CAMPINAS
Setembro
2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE -
UNICAMP

AL87a Alves, Elaine Cangussú de Souza
Avaliação de parâmetros de desempenho de rede de
sensores sem fio em casa de vegetação para cultivo
hidropônico de morangos / Elaine Cangussu de Souza
Alves. --Campinas, SP: [s.n.], 2011.

Orientador: Bárbara Janet Teruel Mederos.
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Redes de sensores sem fio. 2. Equalizadores
(Eletrônica). 3. Morango. 4. Hidroponia. I. Teruel
Mederos, Barbara Janet. II. Universidade Estadual de
Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III.
Título.

Título em Inglês: Evaluation of performance parameters for wireless sensor
network in a greenhouse for hydroponic cultivation of
strawberries

Palavras-chave em Inglês: Wireless sensor networks, Equalizers (Electronics),
Strawberry, Hydroponics

Área de concentração: Máquinas Agrícolas

Titulação: Mestre em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: Leonardo Bravo Roger, Francisco José Arnold

Data da defesa: 08-09-2011


Programa de Pós Graduação: Engenharia Agrícola

Este exemplar corresponde à redação final da **Dissertação de Mestrado** defendida por **Elaine Cangussu de Souza Alves**, aprovada pela Comissão Julgadora em 08 de setembro de 2011, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.


FEAGRI



Prof. Dr.^a Bárbara Janet Teruel Mederos – Presidente e Orientadora
Feagri/Unicamp



Prof. Dr. Leonardo Lorenzo Bravo Roger - Membro Titular
FT/Unicamp



Prof. Dr. Francisco José Arnold - Membro Titular
FT/Unicamp

Faculdade de Engenharia Agrícola
Unicamp

A Deus, por me dar saúde e fé.

Aos meus pais, por todo amor e dedicação.

Ao William, meu paciente companheiro nos momentos difíceis.

Aos amigos, pelo incentivo e força.

A todos os professores e professoras que muito contribuíram para a minha formação.

Dedico

Agradecimentos

Aos meus pais, por terem me incentivado durante estes anos e por me fornecerem uma base construída com amor e fé, eu gostaria de expressar minha profunda gratidão.

William, meu marido, obrigada por tudo.

Agradeço aos meus amigos que sempre me presentearam com sua amizade e confiança.

A excelência profissional da Prof^ª. Dr^ª. Bárbara Janet Teruel Mederos que conferiu prestígio e valor ao meu trabalho. Também agradeço pela consideração de ter aceitado a orientação de minha dissertação.

Meus agradecimentos também são para o mestrando Clerivaldo José Roccia que me ofereceu apoio técnico durante a pesquisa e sempre esteve disponível quando eu precisei.

Da mesma forma, ofereço meus agradecimentos ao Prof. Dr. Paulo Leal que forneceu a casa de vegetação onde os testes foram realizados, tornando assim possível a conclusão deste trabalho.

Agradeço os professores Prof. Dr. Francisco José Arnold e Prof. Dr. Leonardo Bravo Roger, que sempre me deram auxílio quando solicitei.

Meus agradecimentos também são para a FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) que nos munuiu dos recursos necessários para a compra do kit *wireless*.

E, finalmente, agradeço a Faculdade de Engenharia Agrícola e todos os seus funcionários, pelo suporte fornecido durante a realização dos experimentos.

O aspecto mais triste da vida, neste momento, é que a ciência recolhe o conhecimento mais rapidamente do que a sociedade reúne sabedoria.

Isaac Asimov

Sumário

<i>Lista de Figuras</i>	<i>ix</i>
<i>Lista de Tabelas</i>	<i>xi</i>
<i>Resumo</i>	<i>xiii</i>
<i>Abstract</i>	<i>xiv</i>
1. Introdução	1
2. Justificativa	3
3. Objetivos	4
3.1 Geral	4
3.2 Específicos	4
4. Revisão Bibliográfica	5
4.1 Casa de Vegetação	5
4.1.1 Temperatura do ar.....	6
4.1.2 Umidade Relativa do Ar	8
4.2 Morango	9
4.2.1 Produção no Brasil	9
4.2.2 Principais características.....	12
4.2.3 Cultivo de morango hidropônico.....	13
4.3 Rede de Sensores sem Fio	15
4.3.1 Protocolo ZigBee.....	16
4.3.2 Topologia de Rede.....	18
4.3.3 Rede XMesh®	21
4.3.4 Configurações High Power e Low Power.....	22
4.3.5 Transmissão do Sinal.....	23
4.3.6 Parâmetros.....	25
4.4 Uso de Rede de Sensores sem Fio em Casas de Vegetação	28
4.5 Considerações da Revisão Bibliográfica	31
5. Material e Metodologia	32
5.1 Casa de Vegetação	32
5.2 RSSF	38
5.2.1 MoteView.....	40
5.2.2 MoteConfig	41
5.2.3 Placa de Aquisição MDA300CA	43
5.2.4 Preparo do nó sensor.....	45
5.3 Registro de dados Hobo WatchDog®	47
5.4 Experimentos	48
5.4.1 Fase 1: Alcance entre nós e estação base.....	48
5.4.2 Fase 2: Medição do tempo de descarga da bateria em relação à Potência de Sinal.	48

5.4.3 Fase 3: Qualidade do Sinal entre nó e Estação Base	49
5.4.4 Fase 4: Registro de Temperatura e Umidade Relativa	52
6. Resultados e Discussão	53
6.1 Fase 1: Alcance entre nós e estação base	53
6.2 Fase 2: Medição do tempo de descarga da bateria em relação à Potência de Sinal.	55
6.3 Fase 3: Qualidade do Sinal entre nó e estação base	56
6.3.1 Qualidade da Transmissão	56
6.3.2 Qualidade da Recepção.....	60
6.3.3 Indicador de Potência de Sinal Recebido (RSSI).....	62
6.4 Fase 4: Registro de Temperatura e Umidade Relativa	64
7. Conclusões	67
8. Trabalhos Futuros	69
9. Referências Bibliográficas	70

Lista de Figuras

Figura 1: Área plantada de morango no estado de São Paulo (fonte: IEA, 2010).....	10
Figura 2: Produção do Estado de São Paulo (fonte: IEA, 2010)	11
Figura 3: Camadas ZigBee	17
Figura 4: Topologia de rede do tipo estrela (Fonte: XMESH, 2007).	19
Figura 5: Topologia de rede do tipo árvore (Fonte: XMESH, 2007).....	20
Figura 6: Topologia de rede do tipo malha (fonte: XMESH, 2007).....	20
Figura 7: Diagrama da rede XMesh® (fonte: XMESH, 2007)	21
Figura 8: Zona de Fresnel (GOLDSMITH, 2005).....	24
Figura 9: Indicador de Potência de Sinal Recebido versus distância. (fonte: Puccinelli e Haenggi, 2006)	26
Figura 10: Casa de vegetação	32
Figura 11: Planta Baixa da Casa de Vegetação e Área Externa	33
Figura 12: Bancada com indicação do posicionamento do nó sensor.	34
Figura 13: Vista interna da casa de vegetação, com porta, bancadas, mureta da frente, bandeja do centro e ventilador.....	35
Figura 14: Dimensões da porta de entrada da casa de vegetação	37
Figura 15: Componentes do kit Crossbow®. a) placa hospedeira (IRIS); b) placa de aquisição de dados; c) Gateway MIB600; d)- processador OEM; e) placa de sensores; f) Gateway MIB 520; g) módulo de programação; h) softwares	38
Figura 16: Kit Crossbow e Computador.	40
Figura 17: Layout do software MoteView®.	41
Figura 18: Layout do software MoteConfig®.....	42
Figura 19: Placa de Aquisição MAD300CA.	44
Figura 20: Placa de aquisição MDA300CA com proteção na parte superior.	45
Figura 21: Nó sensor com gancho de metal.	46
Figura 22: Hobo WatchDog®, série 1000.....	47
Figura 23: Pontos de Medição e Distâncias até a Estação Base.....	50
Figura 24: Alturas do nó sensor.....	51
Figura 25: Tempo de descarga da bateria.....	55

Figura 26: Dados de Temperatura ambiental coletados pelos nós sensores e pelo Hobo
WatchDog®..... 64

Figura 27: Dados de umidade coletados pelos nós sensores e pelo Hobo WatchDog®..... 65

Lista de Tabelas

Tabela 1: Características principais da camada física e de acesso ao meio no protocolo ZigBee.	17
Tabela 2: Raio da zona de Fresnel e altura livre mínima.	25
Tabela 3: Massa média dos morangos cultivados.....	36
Tabela 4: Escala de valores de Potência de Sinal em dBm disponível para programação no software MoteView®.....	43
Tabela 5: Principais características do sensor STH15.	44
Tabela 6: Características dos sensores WatchDog®.....	47
Tabela 7: Valores de Potência de Sinal e de Distância máxima entre Estação base e nó sensor.	53
Tabela 8: Média dos dados de Qualidade da Transmissão do Sinal para Potência de Sinal de -9,2 dBm.	56
Tabela 9: Desvios padrão dos dados de Qualidade da Transmissão do Sinal para Potência de Sinal de -9,2 dBm.	58
Tabela 10: Média dos dados de Qualidade da Transmissão do Sinal para Potência de Sinal de -12,2 dBm.	58
Tabela 11: Desvios padrão dos dados de Qualidade da Transmissão do Sinal para Potência de Sinal de -12,2 dBm.	59
Tabela 12: Média dos dados de Qualidade da Recepção do Sinal para Potência de Sinal de -9,2 dBm.....	60
Tabela 13: Desvios padrão dos dados de Qualidade da Recepção do Sinal para Potência de Sinal de -9,2 dBm.	60
Tabela 14: Média dos dados de Qualidade da Recepção do Sinal para Potência de Sinal de -12,2 dBm.	61
Tabela 15: Desvios padrão dos dados de Qualidade da Recepção do Sinal para Potência de Sinal de -12,2 dBm.	61
Tabela 16: Dados de Indicador de Potência de Sinal Recebido (RSSI) em dBm, para Potência de Sinal de -9,2 dBm.....	62
Tabela 17: Dados de Indicador de Potência de Sinal Recebido (RSSI) para Potência de Sinal de -12,2 dBm.	63

Tabela 18: Media e Desvio Padrão das diferenças entre os valores de temperatura e umidade relativa registrados no sensor SHT15 e no Hobo Watchdog®..... 65

Resumo

Este trabalho tem como objetivo coletar dados de qualidade de sinal transmitido entre uma estação base e um nó sensor localizado no interior de uma casa de vegetação, localizada no campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP, com o auxílio de ferramentas computacionais. No interior da casa de vegetação foi inserido um sistema hidropônico com bancadas que forneciam suporte para morangueiros da cultivar Albion. O conjunto de equipamentos e de nós sensores que foram utilizados para montar a rede é da marca Crossbow®. Após a implantação do nó sensor foram realizados experimentos com o objetivo de verificar alcance e qualidade do sinal de acordo com sua potência. Através desses ensaios foi possível concluir que uma Potência de Sinal com valor de -12,2 dBm seria suficiente para manter a transmissão entre Estação Base e Nó Sensor. Testes também foram realizados para uma Potência de Sinal de -9,2 dBm, e mostraram que a rede possuía qualidade classificada como “muito alta”. Porém, através do teste de duração da bateria, nota-se que existe uma economia de energia ao utilizar a Potência de Sinal de -12,2 dBm. No geral, foi demonstrado que o valor da Potência de Sinal tem influência sobre a qualidade do sinal de transmissão e recepção, o gasto de bateria e o alcance do sinal. Assim, este é um importante parâmetro a ser considerado em um projeto de implantação de rede de sensores sem fio no meio agrícola.

Palavras-chave: qualidade de sinal, indicador de Potência de Sinal, atenuação, agricultura, *fragaria ananassa duch*.

Abstract

This project aims to collect quality data signals transmitted between a base station and a sensor node located inside a greenhouse, which is an experimental field located in the College of Agricultural Engineering - UNICAMP, with help of computational tools. Inside the greenhouse, a hydroponic system with banks providing support for strawberry Albion was inserted. The set of sensor nodes and equipment that were used to assemble the network is the Crossbow® brand. After sensor node deployment, experiments were performed in order to check range and signal quality. Through these experiments, it was concluded that a RF power value of -12.2 dBm is sufficient to maintain transmissions between base station and the sensor. Tests were also performed to a RF power of -9.2 dBm, and showed that the network had quality rated as "very high". However, by testing the battery life, it is noted that there is an energy saving when the RF power of -12.2 dBm is used. Overall, it was shown that the value of the signal strength has an influence on the quality of signal transmission and reception, battery depletion and signal range. So, this is an important parameter to be considered in a project to establish network of wireless sensors in an agricultural environment.

Keyword: signal quality, received signal strength indication, attenuation, agriculture, *fragaria ananassa duch.*

1. Introdução

Na Agricultura, na medida em que ocorrem avanços tecnológicos, intensifica-se o uso de diferentes aparelhos eletro-eletrônicos e de modelos de negócio, a fim de melhorar a qualidade dos produtos, aumentar a produção, reduzir custos e diminuir o impacto ao meio ambiente.

Assim, termos como rastreabilidade, Agricultura de Precisão (AP) e segurança alimentar, estão em voga. Neste contexto, a medição das variáveis envolvidas nas diferentes cadeias agrícolas torna-se indispensável para gerar as informações necessárias na tomada de decisão, tanto em sistemas de controle dos processos envolvidos como em sua gestão e monitoramento.

Além disso, diversos processos agrícolas precisam de mobilidade das redes de sensores devido à existência de limitações para o uso de cabos e fios e a necessidade de monitorar regiões extensas e afastadas.

Esta é uma área onde Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) ganham espaço, por suas características intrínsecas de mobilidade, transmissão sem fio, e de possibilidade de instalação em pontos e locais de difícil acesso.

As RSSF trabalham com baixas taxas de transmissão e são constituídas de nós que possuem unidade de processamento, memória, transmissor de rádio, sensores e fonte de energia. Os módulos trocam informações a respeito do ambiente com o auxílio de protocolos de roteamento, possibilitando que grandes áreas geográficas sejam cobertas através de uma estrutura de múltiplos saltos, onde os dados são passados automaticamente de nó em nó, até chegar à estação base, onde são armazenados.

Especificamente no caso de casas de vegetação, o uso de RSSF é uma alternativa para a obtenção de dados em tempo real, os quais são importantes para gerar informações que auxiliem no controle e no monitoramento do sistema, garantindo um ambiente adequado para a cultura.

Atualmente, estudos são realizados com o objetivo de adaptar o uso de sensores sem fio em casas de vegetação, mostrando as possibilidades e os obstáculos que surgem com o uso deste equipamento.

Este trabalho faz parte de um projeto, em andamento, em parceria com o Laboratório de Telecomunicações e Ótica da Faculdade de Tecnologia de Limeira (FT/UNICAMP) e do curso de Mestrado em Tecnologia e Inovação que tem como foco avaliar o uso de RSSF em diversos ambientes agrícolas.

Nesta dissertação, o objetivo foi realizar um estudo específico sobre a utilização de RSSF em casas de vegetação, através de análise de dados de qualidade e de alcance do sinal.

Era esperado que o posicionamento do nó sensor na casa de vegetação influenciasse diretamente no desempenho da rede, principalmente em relação aos parâmetros de qualidade do sinal transmitido e recebido.

Deste modo, com a análise dos resultados coletados durante a realização dos experimentos, foi observada a existência de pontos críticos e da interferência de obstáculos na transmissão entre os nós e a estação base.

2. Justificativa

A utilização de tecnologia *wireless* na agricultura traz vantagens importantes no monitoramento de parâmetros que são controlados na produção agrícola, como umidade relativa e temperatura, por exemplo. Porém, o uso deste tipo de equipamento no campo precisa seguir adequações, pois trata-se de ambiente relativamente hostil que precisa ser detalhadamente avaliado.

Isto porque uma rede *wireless* apresenta características específicas que estão relacionadas com a transmissão de sinal, o gasto de energia e a distância entre sensores e a presença de vegetação e fatores ambientais pode influenciar diretamente na eficiência e na qualidade da rede.

Logo, é conveniente a avaliação de alguns aspectos, como o posicionamento dos nós sensores, o alcance máximo da rede e a análise de parâmetros de qualidade. Atualmente, estudos são realizados em ambientes agrícolas a fim de trazer mais informações que podem auxiliar na criação de futuros projetos de monitoração e controle na agricultura.

Este trabalho é etapa inicial de um projeto maior, realizado em parceria com o Laboratório de Telecomunicações da Faculdade de Tecnologia de Limeira (FT/UNICAMP) e do curso de Mestrado em Tecnologia e Inovação, que pretende estudar o uso de Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) em diversos sistemas de produção agrícola, através da avaliação de parâmetros de qualidade e da influência que o ambiente rural tem sobre o funcionamento da rede de sensores.

Esta dissertação contemplou alguns aspectos de uma RSSF implantada no interior de uma casa de vegetação, onde foram produzidos morangos. Avaliaram-se dados relacionados com a qualidade da rede para posições que variavam no sentido vertical e horizontal em relação a uma estação base fixa.

Pretende-se, desta forma, reunir informações iniciais que poderão ser utilizadas em etapas posteriores. Além disto, houve um contato inicial com o equipamento *wireless*, que contribuiu para fornecer experiência para as pessoas que participam desse projeto bem como para as instituições envolvidas.

3. Objetivos

3.1 Geral

Implantar um sensor sem fio em uma casa de vegetação preparada para o cultivo de morangos e avaliar métricas de desempenho de rede.

3.2 Específicos

1. Por em funcionamento no interior de uma casa de vegetação um conjunto *wireless* composto por um nó sensor e uma estação base.
2. Realizar testes de alcance para diferentes programações de Potência de Sinal.
3. Medir e analisar o desempenho da rede, através de dados de qualidade de transmissão e recepção e do indicador de potência do sinal recebido (RSSI).
4. Medir e comparar os valores de temperatura e umidade relativa do ar, fornecidos pelo nó sensor e pelo Hobo WatchDog®.

4. Revisão Bibliográfica

4.1 Casa de Vegetação

Casa de Vegetação é uma estrutura coberta com materiais transparentes que serve de proteção contra agentes meteorológicos, tais como: granizo, excesso de chuvas, proteção do solo contra lixiviação, radiação solar acentuada e quedas bruscas de temperatura. Desta forma, o seu interior favorece o desenvolvimento de culturas durante seu ciclo vegetativo.

De acordo com Antunes et al (2005) as vantagens do uso de casas de vegetação são:

- Redução da umidade foliar, com reflexos positivos na diminuição da ocorrência de doenças que atacam a parte aérea;
- Ampliação do período de safra;
- Uso de técnicas de desinfecção de solo;
- Facilidade no uso de substrato;
- Proteção contra geadas.

Oliveira (1995) também lista como vantagens a alta qualidade do produto, precocidade, menor incidência de pragas, aumento da produtividade e menor lixiviação do solo. O mesmo autor coloca como desvantagens principais a necessidade de manutenção constante e dificuldade de controle ambiental.

Além disso, o custo do crescimento de uma cultura em casas de vegetação é maior do que o seu cultivo no campo. Assim, para que casas de vegetação se mantenham competitivas, elas devem ser capazes de reduzir o custo de produção e aumentar a produtividade das culturas.

A eficiência da produção de plantas em casas de vegetação depende das condições climáticas no interior da estrutura, que devem favorecer o crescimento e alcançar alta produtividade com baixo custo e boa qualidade. Para que isso aconteça algumas variáveis, tais como temperatura do ar, umidade relativa e concentração de CO₂, devem ser adequadamente controladas para favorecer o desenvolvimento da cultura.

Segundo Kacira e Ling (2001), um sistema de monitoramento bem concebido numa casa de vegetação deve ser capaz de lidar com a variabilidade ambiental, monitorar o microclima da planta e as condições do solo.

“Outros aspectos importantes devem ser levados em consideração, como por exemplo, conhecer as diversas estruturas de proteção, configurações, orientações e suas aplicações, conhecer o balanço de radiação em função da cobertura utilizada, dos fechamentos laterais e das condições climáticas locais, conhecer as condições das trocas de ar dentro do ambiente protegido em função do vento predominante, dos fechamentos e do manejo das cortinas laterais, conhecer o comportamento da planta frente à temperatura e umidade relativa do ar da possibilidade de controles dessas variáveis, conhecer os tipos e controles quando se utilizam cortinas de sombreamento para redução da radiação incidente, através de aberturas e fechamentos, manuais ou automáticos, conhecer o sistema de resfriamento por meio poroso e evitar acúmulo de material orgânico no meio poroso.” (COSTA, 2004, p.22)

Assim, para obter um manejo adequado em uma casa de vegetação, com controle e monitoramento de variáveis climáticas, há a necessidade de utilização de equipamentos e de tecnologia apropriados, além de uma frequente manutenção de todo o sistema.

4.1.1 Temperatura do ar

A temperatura do ar em casas de vegetação é uma das propriedades mais importantes, justamente por influir no desenvolvimento vegetativo, no florescimento, na frutificação, na formação das partes tuberosas ou bulbosas e também na produção de sementes (Laranjeira, 2005). Cada espécie de planta possui uma temperatura ótima que favorece o seu desenvolvimento durante a vida útil da cultura.

De acordo com Costa (2004), a interação entre a temperatura e o crescimento das plantas é muito complexa, uma vez que ela afeta diretamente o controle das reações dos vários processos metabólicos que estão envolvidos no crescimento e na reprodução das plantas. Assim, as condições de radiação e de temperatura dentro do ambiente protegido são fatores primordiais para obter sucesso em seu desenvolvimento.

No caso do morangueiro, a temperatura afeta diretamente o potencial de florescimento, fato observado por Bueno *et al.* (2002), citado por Resende *et al.* 2010, devido ao seu efeito na velocidade das reações bioquímicas e dos processos internos de transporte de seiva.

Segundo Cermeno (1990), Santos (1993) e Conti (1998), citados por Costa (2004), durante a floração, as temperaturas críticas do morangueiro se distribuem entre 8 e 10°C para a noite e entre 15 e 18°C para o dia.

Portanto, uma vez existindo o interesse em uma produção de qualidade, torna-se necessário fornecer temperaturas adequadas durante todo o ciclo de cultivo.

Entretanto, segundo Bojacá, e Coomanb 2009, em casas de vegetação ocorre uma variação considerável das propriedades internas do ambiente, o qual sofre influência significativa da constante variação das condições meteorológicas. Entre as influências externas, a radiação solar (luz e calor) exerce o maior impacto, fato que aumenta o desafio de manter a temperatura ótima de crescimento.

De acordo com Laranjeira (2005), o comportamento dinâmico do micro-clima é resultado de uma combinação dos processos físicos que envolvem transferência de energia (radiação e calor) e balanço de massa (fluxos de vapor d'água e concentração de CO₂).

Alguns dos sistemas utilizados para manter a temperatura no interior de casas de vegetação são:

- Sistemas de aquecimento, por ar quente ou água;
- Telas Térmicas;
- Ventilação, que pode ser natural e/ou forçada;
- Refrigeração por evaporação da água.

De acordo com Furlan (2001), citado por Guiselini (2002), a distribuição horizontal da temperatura do ar no interior dos ambientes protegidos não é homogênea. Devido à baixa ventilação, há formação de zonas de calor no centro do ambiente, problema este que nem sempre é solucionado, mesmo com a abertura de cortinas laterais e de janelas zenitais.

Já no sentido vertical, de acordo com Tavares (2005), a variação da temperatura está relacionada com fenômenos de transmissão de calor por irradiação, condução e convecção.

Assim, ocorre um gradiente de temperatura que alcança seu mínimo nas proximidades do solo, e seu máximo na região do teto.

Desta forma, segundo Furlan e Folegatti (2002), a escolha do local ideal para instalação de sensores e equipamentos é muito importante para a obtenção dos dados mais representativos das condições micro meteorológicas nestes ambientes.

4.1.2 Umidade Relativa do Ar

Segundo Stanghellini e Jong, (1995), a umidade relativa é uma importante variável a ser monitorada em casas de vegetação, já que depende da pressão, evaporação, transpiração e da temperatura ambiente. Além disso, é importante na determinação das cargas de aquecimento ou resfriamento, na prevenção de doenças, e na determinação do fornecimento de água pelas plantas.

A alta umidade pode trazer problemas às plantas através de patógenos, enquanto que as baixas umidades trazem problemas de transpiração, por isso é importante monitorar e controlar a umidade numa faixa que favoreça o desenvolvimento vegetal. A umidade acima de 90% é considerada crítica no controle de doenças e por isso deve ser evitada (HAND, 1988).

A manutenção de valores preestabelecidos de umidade relativa do ar dentro de uma casa de vegetação é um fator importante para o melhor desenvolvimento das culturas, mantendo as condições fitossanitárias em níveis controláveis e propiciando valores que permitam um controle da temperatura (REILLY, 1994 *apud* COSTA, 2004).

4.2 Morango

4.2.1 Produção no Brasil

Dados da *Food and Agriculture Organization* (FAO), apontam para um crescimento da produção mundial de morangos. Entre 2000 e 2009, a produção mundial cresceu 27%, enquanto que a área plantada teve um aumento de 2 %.

Os Estados Unidos possuem a maior produção de morangos frescos e congelados. Em 2009 a produção americana foi de 1.270.690 toneladas de fruta fresca em uma área total de 23.500 ha (FAO, 2009).

O Brasil ainda não está entre os grandes produtores mundiais, mas começa a se destacar, devido às condições naturais favoráveis para o cultivo e pela produção em quase todos os meses do ano (MADAIL, 2008).

O interesse pelo cultivo do morango no Brasil é justificado também por causa de sua alta rentabilidade, demanda de consumo e pela diversidade de opções de comercialização e processamento do fruto, que pode ser processado na forma de polpa, sorvetes, geléia, compotas e sucos.

De acordo com Passos (1997), citado por Cocco (2010), o cultivo de morango começou a expandir-se a partir de 1960, com o lançamento da cultivar Campinas pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) na década de sessenta, a partir do cruzamento entre as cultivares norte-americanas *Donner* e *Tahoe*. O surgimento da cultivar causou um salto na produtividade e qualidade da fruta produzida no país.

Desde então, o cultivo foi expandido para outras regiões brasileiras e outras variedades surgiram com o programa de melhoramento genético da Embrapa Clima Temperado com o Instituto Agrônomo de Campinas. Desta forma, com a diversificação de variedades e de sistemas de produção tem-se conseguido produzir morangos, no Brasil, ao longo de todo o ano (COCCO, 2010).

Atualmente, produção comercial do morango brasileiro é realizada em diversos estados, devido a adaptabilidade dos diferentes cultivares utilizados em clima subtropical e temperado. Porém, existe uma maior concentração da produção nas regiões Sul e Sudeste.

Em 2006 foi realizado um censo agropecuário no Brasil pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os dados mostraram que o país havia produzido um total de 79 mil toneladas de morangos. O estado de Minas Gerais destacou-se como maior produtor de morango brasileiro produzindo cerca de 50% do morango nacional.

No Estado de São Paulo, o cultivo do morangueiro teve início nos municípios de Suzano, Atibaia, Jundiaí, Campinas e Piedade, na década de 1960 (IAC, 1990 *apud* CAMARGO FILHO e CAMARGO, 2009).

Dados do IEA mostram que entre 1986 e 2010 houve uma queda na área cultivada em São Paulo (Figura 1).

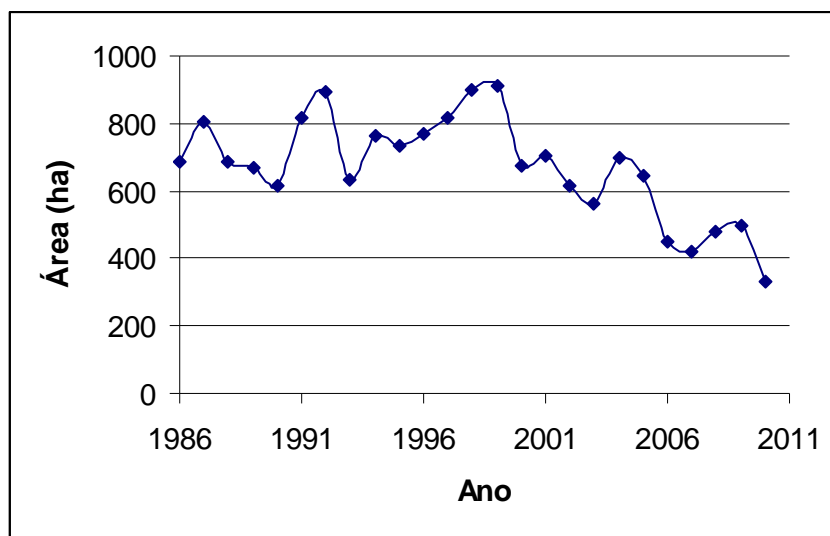


Figura 1: Área plantada de morango no estado de São Paulo (fonte: IEA, 2010)

Para o mesmo período, como mostra a Figura 2, dados do IEA mostraram que houve uma queda na produção de morango no Estado de São Paulo, que produziu aproximadamente 10 mil toneladas de morango em 2010.

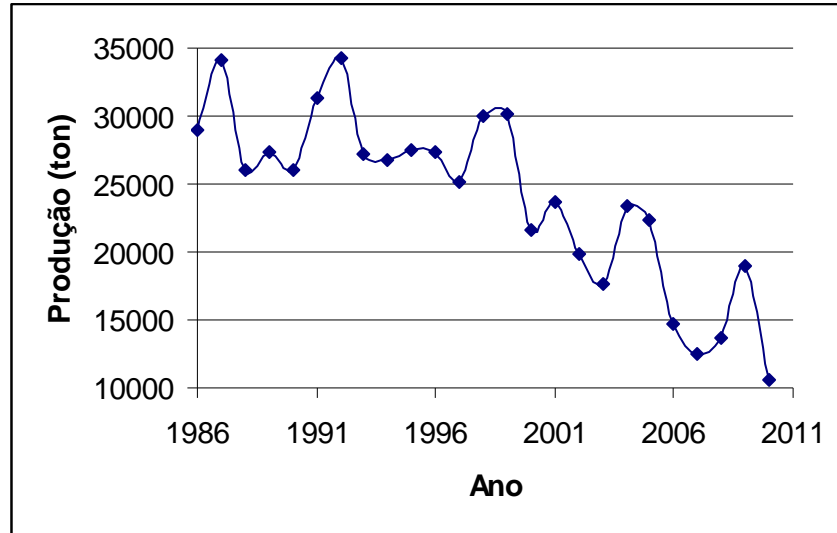


Figura 2: Produção do Estado de São Paulo (fonte: IEA, 2010)

De acordo com Camargo Filho e Camargo (2009) as quedas de área cultivada e de produção de morango ocorreram porque as regiões produtoras também cultivam outras hortaliças e o custo de produção do morangueiro é maior. Além disso, existe a falta de mão-de-obra especializada, pressão imobiliária e a concorrência forte de produtos de outras regiões.

Em busca de amenizar o impacto desses fatores alguns agricultores estão procurando melhorar seu rendimento através da implantação de técnicas de cultivo que protejam o morangueiro, aumentem a produtividade da planta e o lucro da produção. Este avanço também tem ocorrido na fase de pós-colheita, como o processo de armazenamento e de distribuição do produto.

Para Specht e Blume, 2009 esta realidade também é reflexo da pressão da sociedade sobre as cadeias alimentares. Segundo o mesmo autor, é observado um aumento das exigências por parte dos consumidores, relacionadas com a sanidade e qualidade dos frutos. Com isso, ocorre um estímulo de pesquisas visando o desenvolvimento de frutas mais resistentes a pragas e doenças.

Questões ambientais e sociais também impactam diretamente no sistema de cultivo, potencializando diferentes segmentos de mercado.

4.2.2 Principais características

O morangueiro pertence à família das rosáceas e ao gênero *Fragaria*. É uma planta rasteira, de porte pequeno, folhas compostas por três folíolos, flores brancas ou rosadas. Após a fecundação, o receptáculo floral torna-se carnudo, com formato geralmente oval, coloração vermelha, formando assim o pseudofruto conhecido como morango.

O ciclo de produção dos frutos dura entre 60 e 80 dias, sendo que do aparecimento da flor até o ponto da colheita são de 25 a 35 dias. A colheita geralmente é realizada quando o morango apresenta de 50% a 75% da superfície vermelha. Como os frutos são delicados, esta fase deve ser realizada com cuidado para evitar ferimentos.

Quanto à necessidade de irrigação embora existam cultivares de boa produtividade, o sistema radicular do morangueiro é superficial sendo a planta extremamente sensível ao déficit hídrico do solo, exigindo irrigação complementar. Portanto, trata-se de uma prática indispensável para que a lavoura alcance boa produtividade e qualidade do fruto (SANTOS et al. 2005)

É uma planta típica de clima frio, sendo a temperatura seu principal fator limitante. Temperaturas elevadas no período de cultivo resultam em morangos com maior acidez e sabor prejudicado. Porém, morangos produzidos em climas temperados, com dias ensolarados e noites mais frescas, são firmes e mais adocicados (RANDIN, 2006).

De acordo com Costa (2004), o foto-período, também afeta a qualidade do morango, sendo que dias mais longos favorecem a fase de dormência, enquanto que dias curtos estimulam a frutificação, e, provocando a formação de estolhos, o que acontece nas condições brasileiras durante o verão.

No passado, a safra de morango ocorria uma vez por ano no Brasil, no período de inverno. Entretanto, com a criação de novas variedades e com o desenvolvimento de tecnologias, atualmente a produção ocorre todo o período do ano.

Já existem dezenas de cultivares, mas as principais são: Diamante, Albion, Fern, Selva, Seascape, Aromas, Chandrler, Pájaro, Dover, Campinas, AGF 80, Toyonoka, Guarani, Pelican, Vila Nova, Santa Clara, Tudla Milsey, Bürkley, Tangi, Oso Grande, Camino Real, Sweet Charlie e Ventan.

Este trabalho foi realizado com a cultivar Albion, que é de origem californiana e possui como características o porte ereto, frutos cônicos, tamanho médio, alta regularidade e cor vermelha.

4.2.3 Cultivo de morango hidropônico

Tradicionalmente, o morango é cultivado no campo, em canteiros com cerca de 1m de leito útil e 0,5m de entrelinhas. Os canteiros são geralmente cobertos com plástico ou material orgânico (capim, palha) que protegem o solo de efeitos da chuva e da insolação.

Porém, em razão de benefícios relacionados, principalmente, com a produtividade e com a qualidade, tem sido cada vez mais utilizado o cultivo protegido na produção de morango. A utilização de ambiente protegido também surgiu como alternativa para minimizar a utilização de defensivos agrícolas na plantação.

Como o morango também é sensível à infestação por patógenos do solo, também cresce o interesse pelo cultivo hidropônico, que revela algumas vantagens que resultam da combinação do ambiente protegido com a eliminação do uso de produtos destinados a desinfecção do solo (CALVETE *et al.* 2007).

Além disso, com a eliminação do brometo de metila no tratamento fitossanitário do solo em todo o mundo, a utilização de sistemas hidropônicos tornou-se uma alternativa que traz benefícios econômicos (HOGAN, 2008).

De acordo com Furlani et al. (2009) os tipos de cultivo hidropônicos mais utilizados são:

- **Sistema NFT (“nutrient film technique”) ou técnica do fluxo laminar de nutrientes:** Este sistema é composto por um tanque com solução nutritiva, um sistema de bombeamento, canais de cultivo e um sistema de retorno ao tanque. A solução nutritiva é bombeada aos canais e escoada por gravidade formando uma fina lâmina de solução que irriga as raízes;
- **Sistema DFT (“deep film technique”) ou cultivo na água ou “floating”:** A solução nutritiva cria uma lâmina (5 a 20 cm) onde as raízes ficam submersas. Não há canais, mas uma mesa plana onde fica circulando a solução;

- **Sistema com substratos:** Para hortaliças frutíferas, flores e outras culturas que têm sistema radicular e parte aérea mais desenvolvidos, são utilizados vasos cheios de material inerte, como areia, pedras diversas (seixos, brita), vermiculita, perlita, lã-de-rocha, espuma fenólica, espuma de poliuretano e outros para a sustentação da planta, onde a solução nutritiva é percolada através desses materiais e drenada pela parte inferior dos vasos, retornando ao tanque de solução.

No Brasil é predominante o uso do sistema NFT. Segundo Schulz (2007) mais de 97% dos produtores que usam hidroponia utilizam esta técnica.

Entretanto é necessário que o sistema funcione adequadamente, ou a planta pode ter suas condições fisiológicas prejudicadas. Um exemplo é o efeito da inundação do sistema radicular que pode provocar deficiência de consumo de oxigênio e interfere com a absorção de nutrientes (URRESTARAZU e MAZUELA, 2005).

A inundação também provoca acúmulo de altos níveis de etileno, que pode inibir o crescimento, causar o amadurecimento precoce, e induzir o início da senescência, potencialmente reduzindo a produtividade da planta (DRUEGE, 2006 *apud* HOGAN *et al*, 2008).

Além dos efeitos das inundações, outros fatores ambientais, como ferimentos, luz e temperatura podem aumentar os níveis de etileno em plantas. Assim, um manejo apropriado de sistemas hidropônicos é importante para reduzir o estresse, que afeta negativamente o rendimento do cultivo (HOGAN *et al*, 2008).

Os sistemas hidropônicos mais modernos aplicam controladores ambientais no interior de casas de vegetação, através do uso de termostatos, umidostatos, injeção de CO₂ e ventiladores controlados.

4.3 Rede de Sensores sem Fio

De acordo com Chong e Kumar (2003), o desenvolvimento de redes de sensores surgiu pela motivação por grupos militares. Entretanto, o avanço tecnológico, a disponibilidade e o barateamento dos equipamentos têm conduzido o desenvolvimento de muitas outras aplicações, como na área de segurança, infra-estrutura, indústria e agricultura.

Para Loureiro et al (2003) a interconexão de sensores através de redes sem fio, com a finalidade de executar uma tarefa de sensoriamento maior, deve revolucionar a coleta e processamento de informações.

As RSSFs são redes compostas por nós sensores que geralmente possuem um terminal de comunicação rádio e um dispositivo sensor. Além disso, existe uma estação base, responsável pela recepção e processamento das informações coletadas pela rede.

Uma RSSF opera com baixas taxas de transmissão de dados e seus nós possuem componentes que são responsáveis por processar, armazenar, transmitir e receber dados. Cada nó também possui elementos sensores e uma fonte de energia.

A RSSF é um caso particular das redes ad-hoc e são compostas por unidades computacionais autônomas conhecidas como nós. Os nós têm a capacidade de transmitir e receber os dados através de um enlace de rádio e podem ser utilizados em redes com dezenas, centenas ou milhares de nós distribuídos na região de interesse.

O tipo de aplicação influenciará diretamente nas funções exercidas pelos nós, na arquitetura do equipamento (processador, memória, sensores e fonte de energia), na quantidade de nós que compõem a rede, na distribuição, na escolha dos protocolos da pilha de comunicação, no tipo de dado, no tipo de serviço e no tempo de vida dos dispositivos.

Os nós trocam informações e dados usando tecnologia sem fio e, dependendo da configuração da rede e das necessidades de operação, podem se comunicar e se reorganizar de diferentes formas.

De acordo com Loureiro et al (2003), o posicionamento dos nós sensores não precisa ser calculado ou pré-determinado, portanto, os protocolos de comunicação e gerenciamento devem possuir capacidade de auto-organização.

4.3.1 Protocolo ZigBee

O protocolo ZigBee é um protocolo para HAN (Home Area Network) que foi criado para atender um mercado crescente, a um custo baixo e com soluções de controle, segurança, baixo consumo e com topologia de rede variável .

De acordo com Goldsmith (2005), o objetivo do ZigBee é permitir o funcionamento da transmissão via rádio durante meses ou anos, sem a necessidade de recarga.

As principais características do protocolo ZigBee são (KINNEY, 2003).

- Comunicação *wireless* com distância máxima de 500 metros;
- Uso de frequências entre 868 MHz e 2,4 GHz na transmissão;
- Taxa de comunicação de até 250 Kbps;
- Consumo de 30 mA na transmissão e de 3 μ A em standby;
- Topologia de rede variável.

Segundo Goldsmith (2005), além das características já citadas, este protocolo possui a capacidade de realizar roteamento, assim é possível estender a cobertura da rede, sem aumentar as distâncias dos enlaces. Ao mesmo tempo, a habilidade para descobrir e estabelecer rotas dentro da rede aumenta confiabilidade do sistema em caso de falhas de dispositivos.

Seguindo a norma OSI (*Open System Interconnection*) o protocolo ZigBee é estruturado em camadas (Figura 3). Assim, mudanças nas camadas podem ser realizadas sem afetar o protocolo.

USUÁRIO	Aplicação
ZigBee Alliance	Suporte de Aplicação
	Rede (NWK)/Segurança (SSP)
IEEE 802.15.4	PHY (Camada Física)

Figura 3: Camadas ZigBee

A base da tecnologia ZigBee é o padrão IEEE 802.15.4, que foi desenvolvido pelo Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) e, atualmente, é um dos padrões mais utilizados para RSSF. Este padrão contém as especificações para a camada física (PHY) e de acesso ao meio (MAC) do protocolo ZigBee.

Suas principais características são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1: Características principais da camada física e de acesso ao meio no protocolo ZigBee.

Padrão	Frequências	Uso	Número de Canais	Taxa de Transmissão
802.15.4	2,4 a 2,4835 GHz	Global	16 (11 a 26)	250 kbps
	868 a 870 MHz	Europa	1 (0)	20 kbps
	902 a 928 MHz	Américas	10 (1 a 10)	40 kbps

Exemplos do uso do protocolo ZigBee são vistos frequentemente na agricultura através da utilização de RSSF, seja com objetivo de monitorar ou controlar parâmetros variados.

Nunes et al (2011) utilizaram tecnologia de comunicação ZigBee para a avaliação da propagação de sinais em uma granja de frango de corte localizada no estado de São Paulo. Os testes realizados mostraram que para uma distância de até 131 m o uso desta tecnologia se mostrou viável, sendo possível cobrir todos os pontos do galpão com 125 m de comprimento por 12 de largura.

Nadimi et al. (2007) utilizou uma rede ZigBee e montou os nós sensores sobre vacas para determinar tempo de pastagem dos animais com base na perda de pacotes e no posicionamento do *gateway*. Assim, pode ser realizado o monitoramento em tempo real das vacas em uma área extensa localizada na Dinamarca.

Tsiakmakis et al. (2010) desenvolveu uma RSSF para medir a umidade do solo utilizando um módulo fabricado pela *Texas Instruments*® no interior de uma casa de vegetação. A rede era composta por dez nós sensores, roteador e um coordenador que se comunicava com o computador. De acordo com o autor, o uso de um circuito que utilizava baixa potência combinado ao protocolo ZigBee aumentou o tempo de vida da bateria.

Zhu et. al (2006), apresentaram um sistema de rede de sensores sem fio baseada em tecnologia ZigBee numa casa de vegetação localizada na China para monitoramento da temperatura e da luminosidade. Com cinco nós sensores, o sistema foi instalado com baixo orçamento e utilizando baixa potência. Além disso, comparando com o uso de cabeamento, a rede possuiu maior cobertura e o caráter de mobilidade.

4.3.2 Topologia de Rede

A topologia de rede refere-se à forma na qual a rede está conectada e organizada. Existem diversos tipos de topologia e cada um é adequado para tarefas específicas, com suas próprias vantagens e desvantagens: A escolha da topologia deve depender de (BROWN, 2000):

- Número e tipo de equipamento a ser utilizado;
- Taxa de transferência de dados;
- Tempo de resposta;
- Custo.

Os principais elementos de uma topologia de rede são:

- Coordenador: inicia a rede, define o canal de comunicação a ser utilizado, gerencia os nós e armazena os dados fornecidos por eles;
- Roteador: responsável pelo encaminhamento das mensagens entre os nós da rede;
- Cliente: dispositivo que transfere os dados.

Entre as diferentes formas de topologia, existem os tipos chamados de: Estrela, Árvore e Malha.

a)- Estrela

Os componentes da rede do tipo Estrela são: um coordenador e os elementos clientes (Figura 4). Esta é a topologia de rede mais simples, indicada para ambientes sem muitos obstáculos. Possui como vantagem a facilidade de implantação e como desvantagem a dependência de todos os nós em relação a um único coordenador.

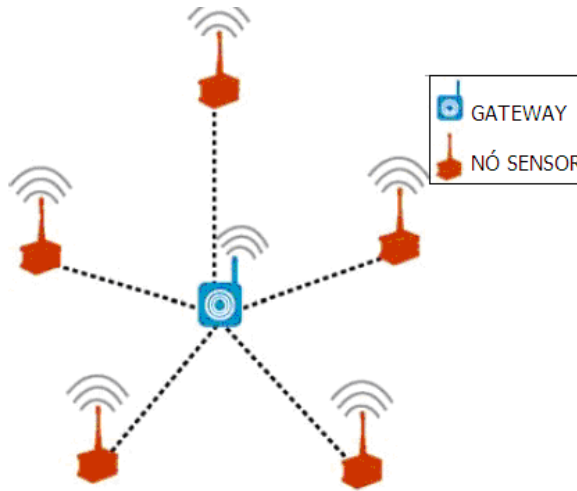


Figura 4: Topologia de rede do tipo estrela (Fonte: XMESH, 2007).

b) Árvore

Na topologia do tipo Árvore (cluster), os componentes são estrelas que se comunicam através de roteadores (Figura 5). Faz-se analogia com uma árvore, pois a raiz seria o coordenador, as bifurcações ou troncos seriam os roteadores e as folhas são os dispositivos finais. Este tipo de rede é aplicado quando existe a necessidade de aumentar o alcance do sinal.

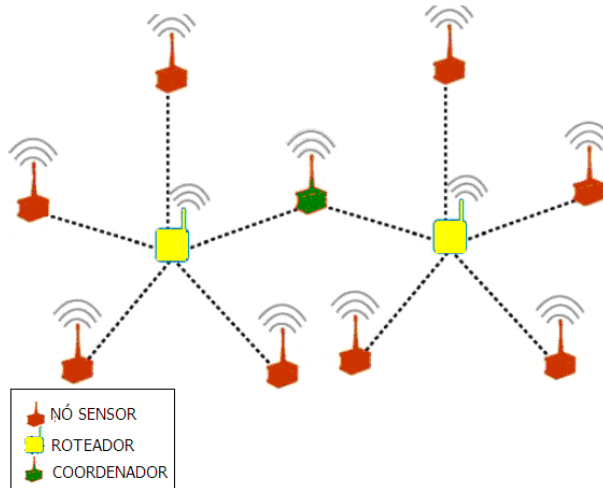


Figura 5: Topologia de rede do tipo árvore (Fonte: XMESH, 2007).

c)- Malha

Em uma topologia do tipo malha (mesh), ocorre um ajuste automático dos elementos componentes, o que torna a rede auto-suficiente na otimização do tráfego de dados (Figura 6). Assim, é possível formar redes complexas e extensas. Uma rede *mesh* é composta por nós ou roteadores que têm a função de repetidores. Desta forma, é possível a transmissão de dados de um nó a outro por diferentes caminhos.

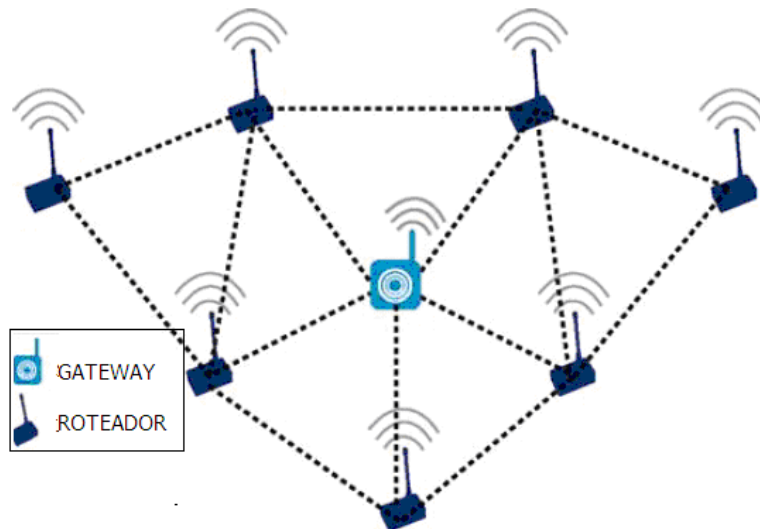


Figura 6: Topologia de rede do tipo malha (fonte: XMESH, 2007).

4.3.3 Rede XMesh®

O XMesh® (Figura 7) é um protocolo de roteamento desenvolvido pela Crossbow®, para utilização em rede de sensores sem fio. É constituído por nós sensores e por uma estação base que permite a transmissão dos dados para o computador (XMESH, 2007).

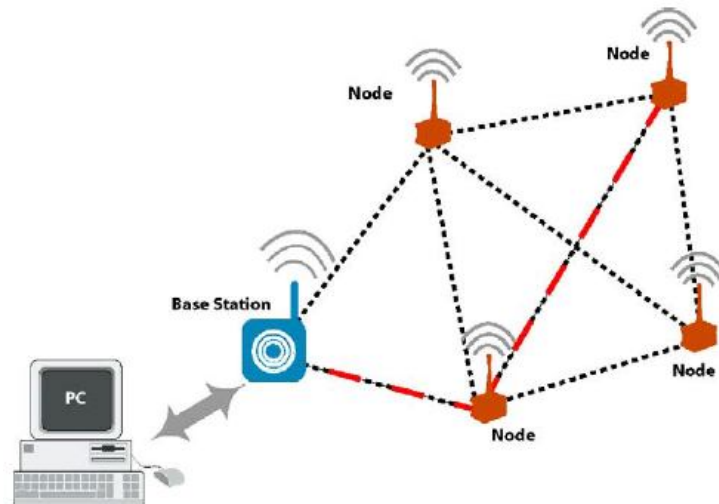


Figura 7: Diagrama da rede XMesh® (fonte: XMESH, 2007)

Possui como características (XMESH, 2007):

- Baixo consumo de energia: O consumo de energia deve ser minimizado para que os dispositivos possam ser alimentados por longos períodos de tempo;
- Facilidade de uso: O protocolo permite que a rede de sensores seja iniciada no modo ad hoc, com a possibilidade de auto-organização;
- Escalabilidade: A rede deve suportar o número de nós requeridos imediatamente e deve também ser capaz de tolerar um crescimento futuro sem causar uma sobrecarga. O tempo de sincronia da rede é de aproximadamente 1ms;
- Receptividade: A topologia implementada deve ser eficiente, especialmente para aplicações onde nós sensores são móveis;
- Alcance: Para uma mesma distância entre o nó e a estação base, é energeticamente mais eficiente emitir sinais de baixa potência que percorrem distâncias curtas, sendo retransmitidos várias vezes por outros nós, do que transmitir um único sinal com alta potência que deve alcançar a estação base,

sem escalas. Desta forma, no XMesh® os pacotes de dados podem ser transmitidos entre um repetidor e outro, quando o nó sensor está muito longe da estação de base;

- Topologia variável (estrela, árvore ou malha);
- Roteamento em ambos sentidos (bidirecional): Além do *gateway* receber sinais de transmissão de dados do nó sensor, a comunicação ocorre também no sentido inverso para permitir que a estação base transmita sinais de ajuste para parâmetros operacionais;
- Função TrueMesh, onde o nó procura novas rotas de encaminhamento de dados.

O protocolo XMesh® foi empregado por Santos *et al.* (2009), no monitoramento de variáveis ambientais em casa de vegetação, onde a rede era composta por quatro nós sensores. Também foi utilizado por Benavente *et al.* (2009) numa RSSF composta por 17 nós sensores, para monitoramento de uma cultura de milho.

4.3.4 Configurações High Power e Low Power

O protocolo XMesh® pode ser configurado de três modo diferentes, são eles: HP (High Power), LP (Low Power) e ELP (Extended Low Power) (XMESH, 2007).

O modo HP apresenta:

- Função TrueMesh;
- Cada nó da rede pode realizar o roteamento de dados;
- Alta largura de banda, baixa latência;
- Os nós estão sempre ligados.

O modo LP fornece:

- Função TrueMesh;
- Cada nó da rede pode realizar o roteamento de dados;
- Baixa largura de banda, alta latência;

- O nó sensor fica em estado de dormência, com baixo gasto de energia, e é “acordado” periodicamente para realizar o tráfego de dados.

O modo ELP possui como características:

- É utilizado apenas para nós localizados no fim da rede;
- Os nós não podem rotear dados;
- Usa topologia híbrida: estrela-malha.

4.3.5 Transmissão do Sinal

Para que haja comunicação, é necessário garantir que o sinal emitido pelo transmissor consiga chegar ao receptor com um nível de potência que esteja dentro da sensibilidade de recepção. Porém, obstáculos presentes entre o receptor e o transmissor podem diminuir esta potência, acarretando a perda de dados e atenuação.

O sinal recebido deve ter potência suficiente para que haja detecção no sinal pelo circuito eletrônico. Além disso, para evitar erros, o sinal deve apresentar um nível suficientemente maior que o ruído.

Para a determinação dos limites dos obstáculos é importante a Zona de Fresnel. Goldsmith (2005) define como Zona de Fresnel a região elíptica, localizada entre as antenas do transmissor e do receptor. Trata-se de uma região que tem suas dimensões dependentes da distância entre nós e da frequência de sinal. Na Figura 8 é representada a Zona de Fresnel.

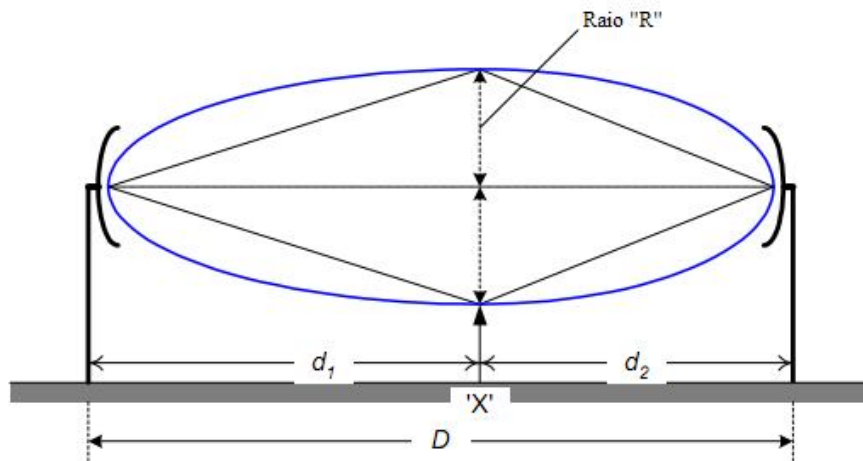


Figura 8: Zona de Fresnel (GOLDSMITH, 2005).

O raio da Zona de Fresnel [NIKOLSKI, 1976; DOLUKHANOV, 1974] pode ser calculado por:

$$r_n = \sqrt{\frac{n \times \lambda \times d_1 \times d_2}{d_1 + d_2}} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

- r_n : raio da n-ésima Zona de Fresnel do enlace;
- λ : comprimento de onda correspondente a frequência central de operação;
- d_1 e d_2 : distâncias desde o transmissor e o receptor até ponto onde se deseja calcular o raio da primeira zona de Fresnel.

O ideal é que o elipsóide imaginário que define a primeira Zona de Fresnel ($n=1$) fique livre de obstáculos, inclusive da própria superfície terrestre. Isto significa que as antenas devem ser posicionadas em locais mais elevados.

Na prática, é suficiente que aproximadamente 57,7% do raio da primeira zona esteja livre de obstrução. Assim, essa condição consegue-se para alturas de antenas com altura mínima (h_{\min}) maior ou igual a $0,577 \times r_1$.

Para os experimentos realizados neste trabalho, tomando a condição onde $d_1=d_2$, variando-se a distância de enlace para as condições testadas em campo e para uma frequência

de operação de 2,4835 GHz, os valores para o raio da zona de Fresnel e de altura livre mínima são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2: Raio da zona de Fresnel e altura livre mínima.

Distância (m)	r_1 (m)	h_{\min} (m)
7,4	0,47	0,27
9,5	0,54	0,31
10,5	0,56	0,32
11,7	0,59	0,34
12,0	0,60	0,35
15,3	0,68	0,39
16,4	0,70	0,41

Os valores obtidos na Tabela 2 mostram que para uma distância máxima do experimento de 16,4 metros a altura livre mínima deve ser de, aproximadamente, 0,40 metro.

A antena da estação base foi colocada a 1,30 m de altura e houve variação na altura do nó sensor que foi posicionado a 0, 0.8, 1.3 e 2.0 metros do piso. Assim, exceto quando o nó era posicionado no piso, havia uma altura livre mínima da antena para as posições realizadas.

Porém, entre o nó e a estação base havia a presença de vegetação, material metálico e acrílico ao longo de toda a altura. Ou seja, neste caso, o enlace sofreu influência de objetos que provocam efeitos diversos no sinal transmitido.

4.3.6 Parâmetros

4.3.6.1 Indicador de Potência de Sinal Recebido (RSSI)

O RSSI (Received Signal Strength Indication) é definido como a relação entre potencia recebida e a potencia de referencia, como mostra a Equação 2.

$$RSSI = 10 \times \log\left(\frac{P_{RX}}{P_{Ref}}\right) \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

RSSI = Indicador de sinal recebido (dBm);

P_{RX} = potência recebida (mW);

P_{Ref} = potência de referência (mW).

No software MoteView os valores do RSSI são apresentados numa escala de 0 a 28 pontos. Estes valores devem ser convertidos através da Equação 3, fornecida pelo manual da placa hospedeira IRIS®.

$$\text{Se } N_{RSSI} \leq 0 \Rightarrow RSSI = -91 \text{ dBm}$$

$$\text{Se } 0 < N_{RSSI} < 28 \Rightarrow RSSI = -91 + 3 \times (N_{RSSI} - 1) \quad \text{Equação 3}$$

$$\text{Se } N_{RSSI} \geq 28 \Rightarrow RSSI = -10 \text{ dBm}$$

Teoricamente, o valor do RSSI é função da distância. Porém, devido à natureza aleatória de propagação e à presença de obstáculos, essa relação não é previsível, pois a realização de testes experimentais em diversas condições pode produzir resultados muito diferentes (PUCCINELLI e HAENGGI, 2006).

Na Figura 9 é visto um exemplo da função teórica entre RSSI e a distância, para potências de sinal de 10 e -10 dBm, e os desvios que podem ocorrer no âmbito experimental.

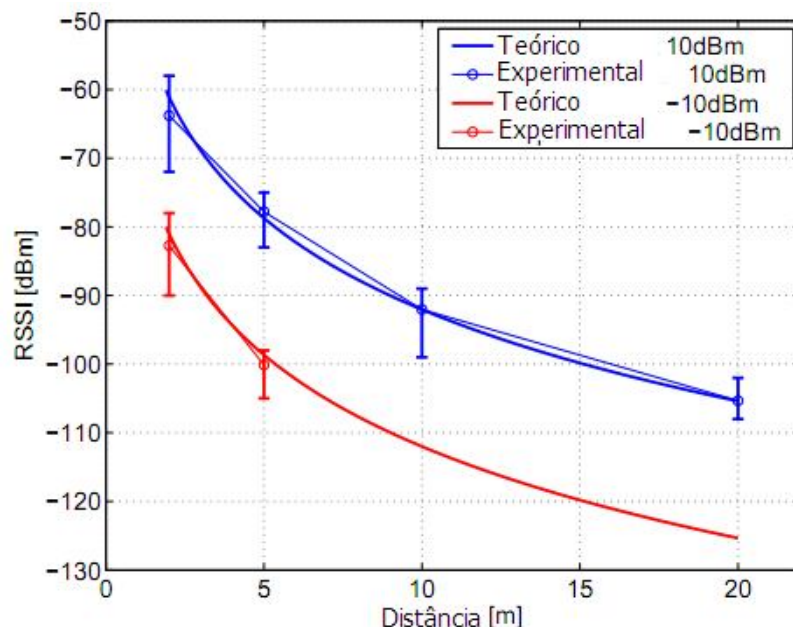


Figura 9: Indicador de Potência de Sinal Recebido versus distância. (fonte: Puccinelli e Haenggi, 2006)

As ondas propagadas entre o nó sensor e a estação base estão sujeitas a reflexões no solo e na atmosfera que provocam alterações na sua amplitude e caminho percorrido. Estas variações são chamadas de desvanecimento (fading) e provocam variações na intensidade do sinal recebido.

4.3.6.2 Indicadores de Qualidade

Os indicadores de qualidade fornecidos pelo software MoteView®, são calculados com base no número de transmissões de pacotes em um intervalo de 2 minutos como mostra a Equação 4. O número de transmissões neste intervalo de tempo pode chegar a um valor máximo de 8. Se após 8 tentativas não ocorrer a transmissão, o pacote é considerado perdido.

$$\text{Qualidade} = \frac{1}{\text{número de transmissões}} \quad \text{Equação 4}$$

No software MoteView® os dados de qualidade são fornecidos em termos de Qualidade da Transmissão (Quality_Tx) e Qualidade da Recepção (Quality_Rx).

A Qualidade da Transmissão está relacionada com a passagem de sinal entre o nó sensor e a sua Estação Base. Já a Qualidade da Recepção fornece o nível do link entre Estação Base e Nó Sensor (XMESH, 2007).

No software a Qualidade de Sinal é expressa em valores de 0 a 15 que correspondem a 0 a 100%, respectivamente. Ou seja:

0 → 0%: corresponde a uma qualidade baixa, onde o número de transmissões é elevado.

15 → 100%: corresponde a uma qualidade alta, onde o número de transmissões é igual a 1.

4.4 Uso de Rede de Sensores sem Fio em Casas de Vegetação

Na área agrícola, possíveis aplicações para RSSF estão relacionadas com agricultura de precisão e o controle de ambientes. A utilização desta ferramenta pode fornecer informações confiáveis para a tomada de decisões, podendo, por exemplo, auxiliar na construção de mapas de gerenciamento de informações que podem ser correlacionados com mapas de colheita para obtenção de causas de produtividade em determinados pontos da área de cultivo (CAMILLI, 2004 apud GONDA *et al*, 2005).

Segundo Matijevics e Simon (2010) avanços contínuos na tecnologia sem fio possibilitaram a implantação de redes de sensores para monitorar vários aspectos do ambiente agrícola. A utilização de RSSF na agricultura oferece novos recursos, tanto para controle, quanto para monitoramento e transmissão de dados. Recentes avanços nesta área têm levado ao desenvolvimento de aparelhos com baixo custo, baixo consumo de energia e de novos nós sensores multifuncionais (RUIZ-ALTISENT *et al*, 2010).

A utilização de RSSF como ferramenta para a aquisição de dados em agricultura de precisão é diferenciada, pois os nós sensores sofrem maiores influências do meio externo e são mais prejudicados do que os sistemas utilizados em ambientes controlados. Assim, de acordo com Gonda *et al* (2005), no monitoramento de casas de vegetação, por ser um ambiente mais controlável e por necessitar do controle de um número menor de variáveis, as redes de sensores sem fio são mais eficazes.

O uso de RSSF em casas de vegetação é uma opção para obter variáveis ambientais em diversos pontos, permitindo assim, um controle mais apurado das condições da instalação. Comparado com os sistemas de cabo, a instalação de RSSF é rápida, fácil e barata. Além disso, é fácil realocar os pontos de medição apenas movendo os nós sensores de uma localidade para outra, isso dentro de um alcance de comunicação.

Em casas de vegetação, a eficiência do cultivo depende de diversos fatores que afetam diretamente ou indiretamente na produção. Neste caso, as variáveis: temperatura, umidade do ar e do solo, radiação e concentração de gás carbônico são mais monitoradas. (HANAN, 1998 *apud* GONDA e CUGNASCA, 2006). Atualmente, estudos são realizados com o objetivo de testar a eficiência da medição remota desses e outros parâmetros importantes para o cultivo.

Hamrita e Hoffacker (2005), por exemplo, demonstram a aplicação de um sistema de sensores sem fio para o monitoramento da temperatura do solo. Já Jackson *et al* (2007) e Morais *et al* (2004) mostraram a viabilidade do uso de RSSF para monitoramento de umidade do solo.

Mancuso e Bustaffa (2005) utilizaram sensores sem fio para medir temperatura e umidade relativa do ar e temperatura do solo numa casa de vegetação localizada no sul da Itália, onde eram cultivados tomates. Neste trabalho foi desenvolvido um sistema de monitoramento onde o produtor poderia obter informações da casa de vegetação via celular e internet.

Carrara *et al* (2008) utilizou RSSF dentro de uma casa de vegetação para monitoramento de parâmetros ambientais em três níveis diferentes de altura dentro de uma casa de vegetação. Com isto, foi possível observar diferenças significantes entre as variáveis ambientais de cada nível.

Outros trabalhos já tratam do uso de RSSF para aquisição de dados utilizados no funcionamento de sistemas de controle. Isto foi feito por Serôdio *et al* (2001), Marhaenanto e Singh (2002), Omid e Shafaei (2004) e Gonda e Cugnasca (2006).

Yoo *et al.* (2007) desenvolveu e empregou um sistema automatizado em casa de vegetação com uso de RSSF que monitorava o processo de crescimento de melões e repolhos.

Park e Park (2011) projetaram uma RSSF, com monitoramento automático, que impede a condensação de água nas folhas de culturas instaladas em casas de vegetação. O sistema foi composto por nós que agiam como sensores (umidade relativa e temperatura do ar e de superfície de folha), processadores e atuadores, para ajustar o ambiente no interior da casa de vegetação. Um servidor realizava o processamento e o armazenamento dos dados coletados.

Ainda são muitos os desafios para a adequação deste tipo de rede de sensores na área agrícola. Segundo Quirino e Silva (2007), um dos principais problemas é o consumo de energia, pois por se tratar de sensores, geralmente não possui reserva de energia para longos períodos, portanto, o gerenciamento de energia é indispensável. Experimentos demonstram que o maior gasto de energia do nó sensor ocorre durante o processo de transmissão de dados, enquanto que o processamento consome menos (ANASTASI *et al*, 2009).

Algumas pesquisas já são direcionadas na busca de fontes alternativas, disponíveis no campo, para suprir as necessidades da rede. Morais *et al* (2008), por exemplo, utilizando uma RSSF em vinhedo, usou como fonte energética um conjunto de equipamentos para a captação de energia solar, do vento e, até mesmo, da água de irrigação.

Mais um obstáculo que surgiu com a implantação de sensores sem fio na agricultura é a atenuação de sinal causada pela presença de vegetação. Para Tuijl *et al* (2008) este é um problema que deve ser estudado na horticultura. A atenuação ocorre principalmente porque a frequência de transmissão da RSSF é de 2.4GHz que é absorvida por materiais ricos em água, como plantas, por exemplo. Algumas soluções testadas estão relacionadas com o aumento da altura das antenas e o posicionamento dos transmissores e receptores.

Outro problema observado caso de casas de vegetação, segundo Omid e Shafaei (2004), é a variação da intensidade solar que cria mudanças repentinas no ambiente. Estas mudanças podem prejudicar o tempo de resposta de um sistema de controle que utiliza RSSF. Assim, é necessário, no caso de um controlador, por exemplo, realizar o ajuste adequado dos parâmetros de controle.

Também são relatadas algumas falhas de comunicação, problemas de processamento, necessidade de redução do tamanho do sensor e interferências do ambiente. Porém, com avanço dos equipamentos utilizados na construção da RSSF essas e outras dificuldades tendem a ser superadas.

4.5 Considerações da Revisão Bibliográfica

Neste capítulo foram apresentadas algumas das características da cultura e do ambiente onde os experimentos foram realizados.

Portanto, ficou observado que, atualmente, para produzir morangos, são consideradas alternativas que contribuam para a obtenção de alimentos seguros, com qualidade e alta produtividade.

Em meio a isso, existem opções de cultivo que facilitam a maximização desses fatores, como ocorre, por exemplo, na utilização combinada de casas de vegetação e sistemas hidropônicos. O uso deste conjunto pode trazer vantagens como: a facilidade do controle de pragas e doenças, a possibilidade de produção em períodos de entressafra e o aumento da produtividade.

Para a obtenção desses benefícios é importante que haja o controle e monitoramento ambiental. Com isso também entram em discussão o uso de instrumentação adequada que possibilite a minimização de riscos relacionados a perda de produção.

Para o controle do ambiente em casas de vegetação, uso de sensoriamento com cabos em casas de vegetação é, ainda, o mais comum entre os produtores brasileiros. Porém, o uso deste equipamento traz limitações relacionadas principalmente com falta de mobilidade, dificuldade de instalação e manutenção, alcance e custos. Assim, torna-se atraente a opção de utilização de Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) no lugar do cabeamento.

Porém, o uso desta tecnologia no ambiente agrícola ainda é novidade e atualmente são estudadas e analisadas as dificuldades e possibilidades que apareceram com esta aplicação. Os avanços nessa área estão ocorrendo rapidamente, e as soluções para problemas de transmissão de sinal e gasto de bateria estão surgindo.

5. Material e Metodologia

Neste capítulo o objetivo é detalhar os materiais e a metodologia utilizada na avaliação do desempenho de um sensor sem fio no interior de uma casa de vegetação. Para isso, serão descritos os cenários experimentais, a infraestrutura e os experimentos realizados.

5.1 Casa de Vegetação

A casa de vegetação (Figura 10) está situada no Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP. Trata-se de uma estrutura metálica de 6,50 m de largura por 11,00 m comprimento, 3,0m de pé-direito e 2,0 m de altura acima do pé direito. O telhado é do tipo duas águas, com inclinação de 31,6°, sendo o material lateral e do telhado constituído por plástico transparente difusor de luz (PEBD - Polietileno de Baixa Densidade) com 150 μ m de espessura, tratado contra raios ultravioleta.



Figura 10: Casa de vegetação

As laterais da casa de vegetação possuem muretas de concreto com altura de 0,30 m e largura de 0,10 m. O ventilador metálico foi instalado a uma distância de 1,10 m em relação ao chão e possui dimensões de 0,95 m de altura, 0,45 m de largura e 0,95 m de comprimento. A vista superior da casa de vegetação e de toda a área envolvida no experimento é mostrada na Figura 11.

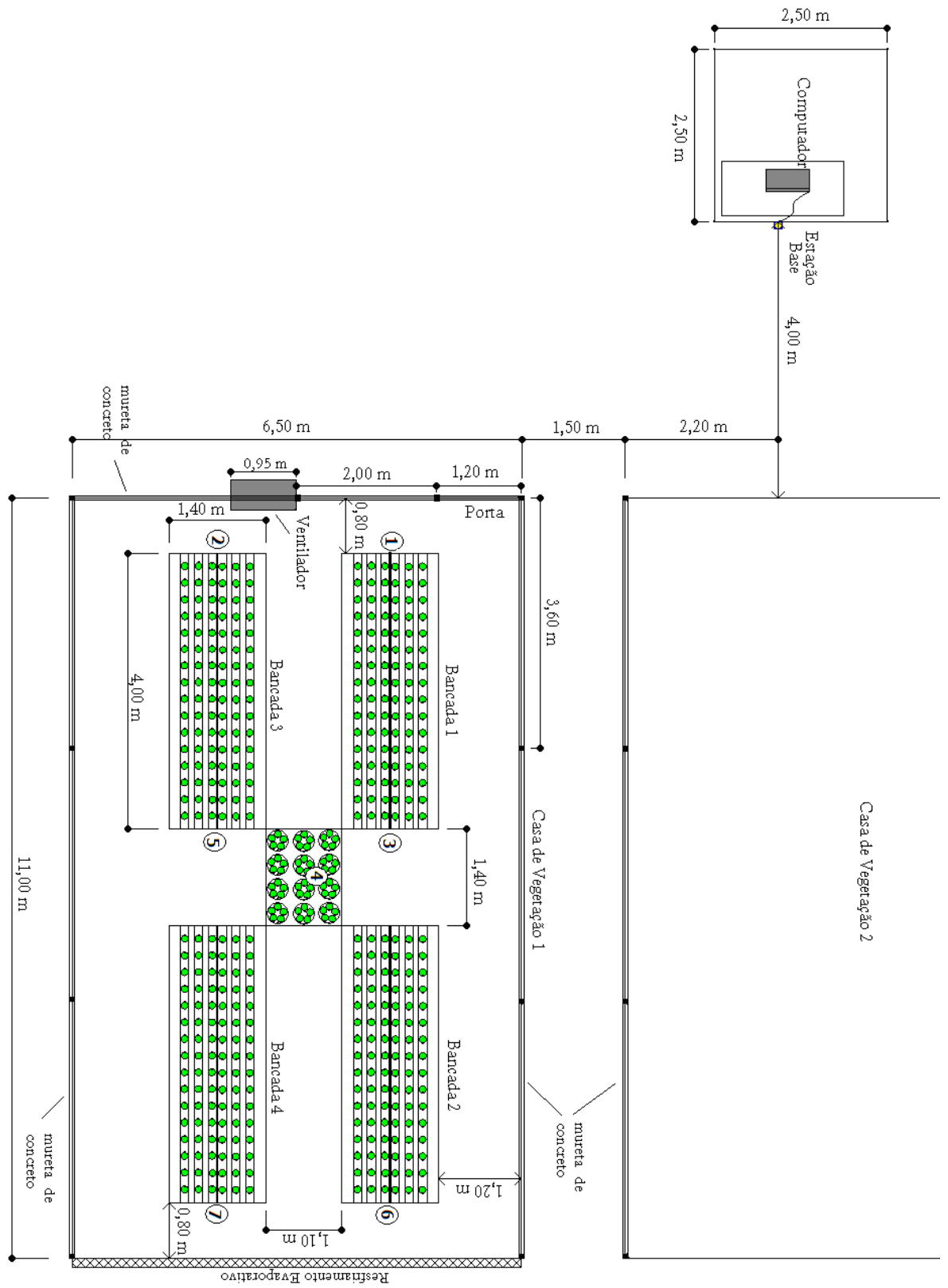


Figura 11: Planta Baixa da Casa de Vegetação e Área Externa

No interior da casa de vegetação foram fixadas 4 bancadas que sustentam o sistema hidropônico para os morangos (Figura 12).

Cada bancada possuía um total de seis canaletas feitas com tubos de PVC. Em cada canaleta foram enfileirados 16 vasos plásticos com morangos (*fragaria ananassa duch*) em fase de frutificação. O fluxo de água no interior das canaletas era de 2 l min^{-1} .

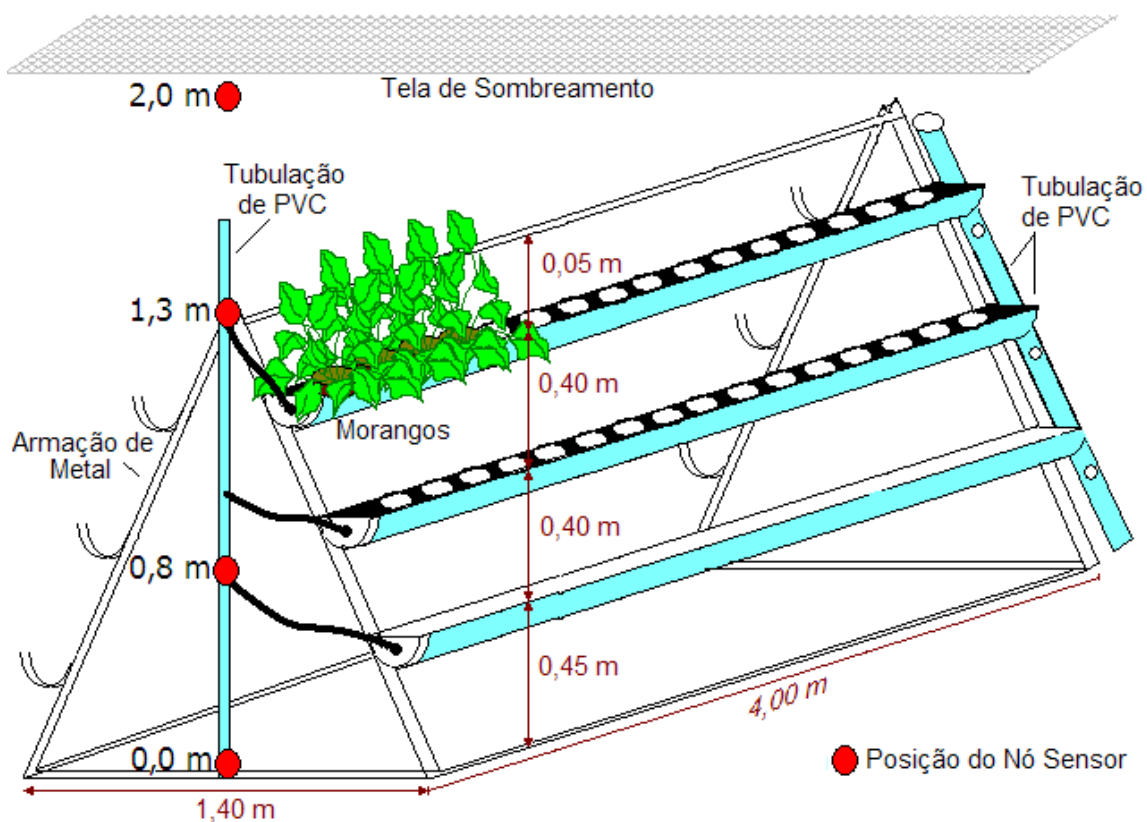


Figura 12: Bancada com indicação do posicionamento do nó sensor.

Além das bancadas, o centro da casa de vegetação possuía uma bandeja de fibra de vidro com dimensões de 1,40 por 1,10 m, colocada numa altura de 0,30 m do piso, onde foram distribuídos 60 vasos de morango que eram regados manualmente. Na Figura 13 é possível observar a localização da bandeja, das bancadas, do ventilador e da porta.



Figura 13: Vista interna da casa de vegetação, com porta, bancadas, mureta da frente, bandeja do centro e ventilador.

Os morangueiros da cultivar Albion tiveram a massa média determinada através de amostragem ao acaso. Como era visível que as plantas não possuíam volume homogêneo, a determinação das médias de massa foi realizada por setores: 4 bancadas e o centro. Assim, para retirar as amostras, os vasos foram enumerados e 10 elementos foram sorteados em cada setor.

A massa de cada amostra foi coletada através de balança digital com precisão de 0,01 g. O maior valor de desvio padrão (70 gramas) foi então utilizado no cálculo do número mínimo de amostras (Equação 5).

$$n = \frac{N \times Z^2 \times \sigma^2}{d^2 (N - 1) + Z^2 \times \sigma^2} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

N: população (96 para bancada e 60 para o centro);

σ : desvio padrão (maior valor: 70 g);

Z: valor da variável normal padrão (2,26, grau de confiança de 95%);

d: erro (50 g).

$$n = \frac{96 \times 2,26^2 \times 70^2}{50^2 (96 - 1) + 2,26^2 \times 70^2} \cong 10 \text{ amostras}$$

Desta forma, para cada bancada e para o centro, a massa média de um morangueiro na fase de frutificação é visto na Tabela 3.

Tabela 3: Massa média dos morangos cultivados.

Amostra	Massa (g)				
	Bancada 1	Bancada 2	Bancada 3	Bancada 4	Centro
1	469,19	355,86	433,13	394,38	296,03
2	471,60	383,69	452,66	403,71	301,23
3	478,89	408,31	463,71	423,51	250,32
4	484,2	418,46	474,70	433,81	240,38
5	534,86	472,27	481,90	482,70	225,87
6	536,38	492,94	481,92	489,31	302,01
7	559,15	493,43	488,54	521,57	212,03
8	584,47	494,75	495,75	525,88	226,08
9	615,23	544,32	495,98	535,88	215,36
10	616,57	573,20	567,29	551,70	251,02
Média (g)	535,05	463,72	483,56	476,25	252,03
Desvio Padrão (g)	57,93	70,25	35,46	58,24	35,43

A casa de vegetação possui uma única porta de entrada que é constituída principalmente por metal e material acrílico transparente com superfície ondulada e possui largura de 1,34 m e altura de 1,95 m (Figura 14).

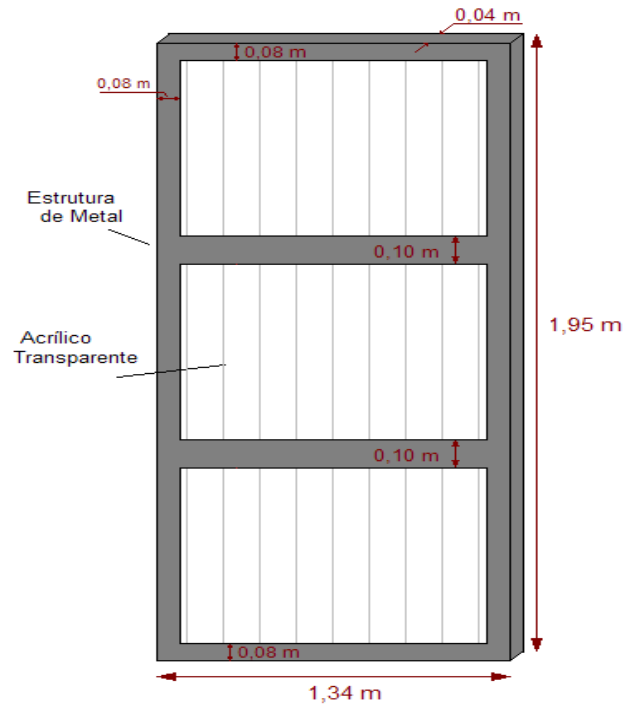


Figura 14: Dimensões da porta de entrada da casa de vegetação

5.2 RSSF

A RSSF utilizada neste trabalho é da marca Crossbow®, opera na frequência de 2,4 GHz e é formada por módulos de programação, placas, sensores para medição de temperatura, umidade relativa, sistema de aquisição e processamento de dados, e nós sensores (Figura 15).

Em todos os testes a rede foi configurada no modo *High Power* (HP).

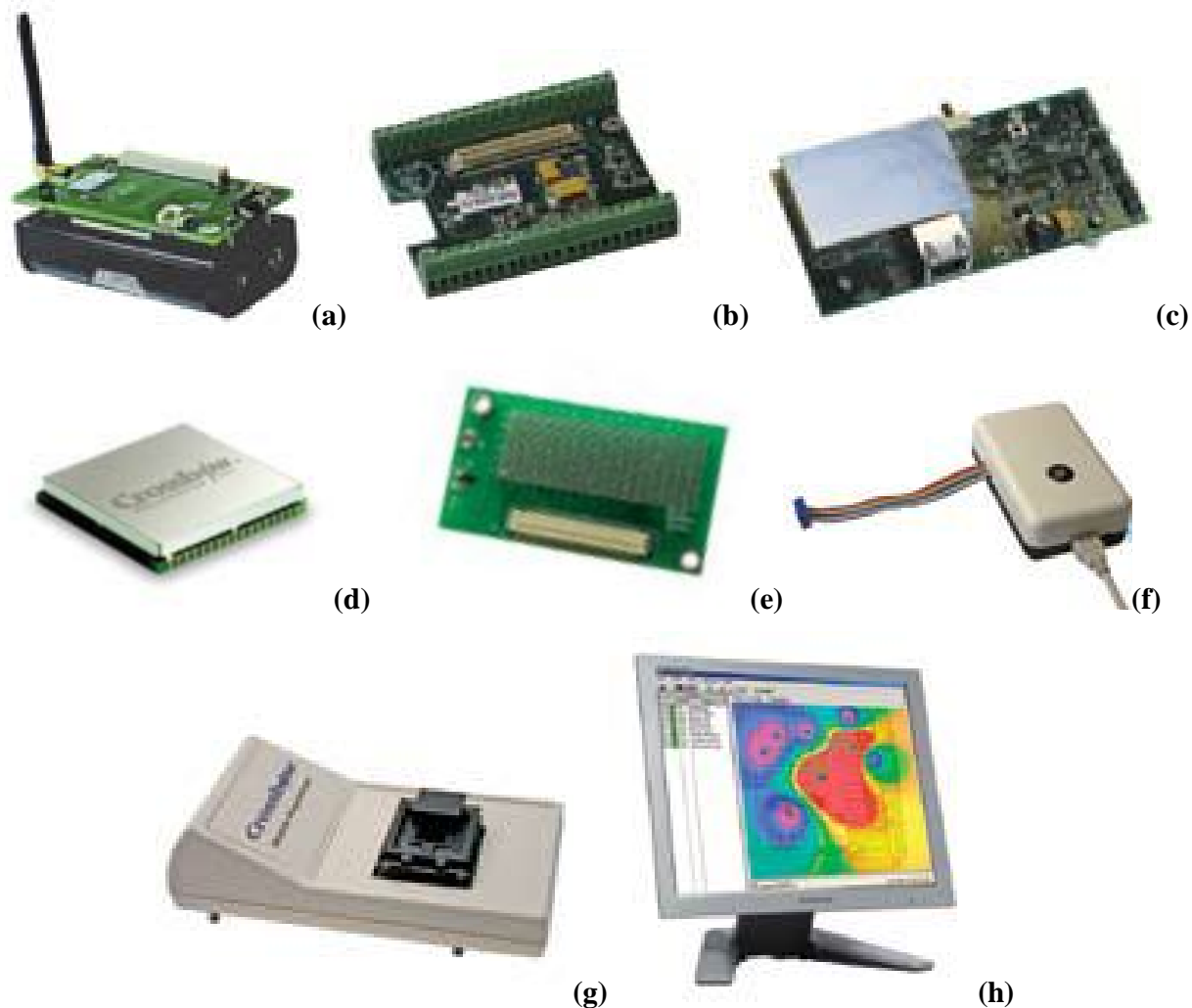


Figura 15: Componentes do kit Crossbow®. a) placa hospedeira (IRIS); b) placa de aquisição de dados; c) Gateway MIB600; d)- processador OEM; e) placa de sensores; f) Gateway MIB 520; g) módulo de programação; h) softwares

Os componentes do kit Crossbow® são:

a) IRIS OEM: placa hospedeira da antena, baterias e de conexão dos sensores;

- b) Placa de aquisição de dados (MDA300CA):** com 11 canais de entrada analógica de 12 bits, para sensores de temperatura e umidade;
- c) Gateway (MIB600):** com interface Ethernet e serve como uma estação de base de conexão da rede de sensores sem fio à rede IP;
- d) Processador OEM:** oferece uma baixa potência na banda de 2,4 GHz de banda de frequência, usando *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS) de rádio;
- e) Placa de sensores (MDA100CB):** com placa de aquisição de dados para conexão com os sensores;
- f) Gateway (MIB 520):** permite a conectividade e suporta a programação dos módulos OEM em projetos com hardware personalizado através de porta USB;
- g) Módulo de programação:** suporta a programação de os módulos autônomos da OEM antes de serem colocados no PCB;
- h) Softwares MoteView®, MoteConfig® e Xsniffer®:** para monitoramento do processo em tempo real com interface gráfica e de tratamento dos dados. Fornecem mapa de topologia, capacidade de exportação de dados, programação à distância e dados de qualidade de sinal e perda de pacote.

Entre os componentes do kit Crossbow®, foram utilizados nos experimentos, a placa de aquisição MDA300CA, o gateway MIB 520, placa OEM hospedeira e os softwares MoteView® e MoteConfig® (Figura 16).

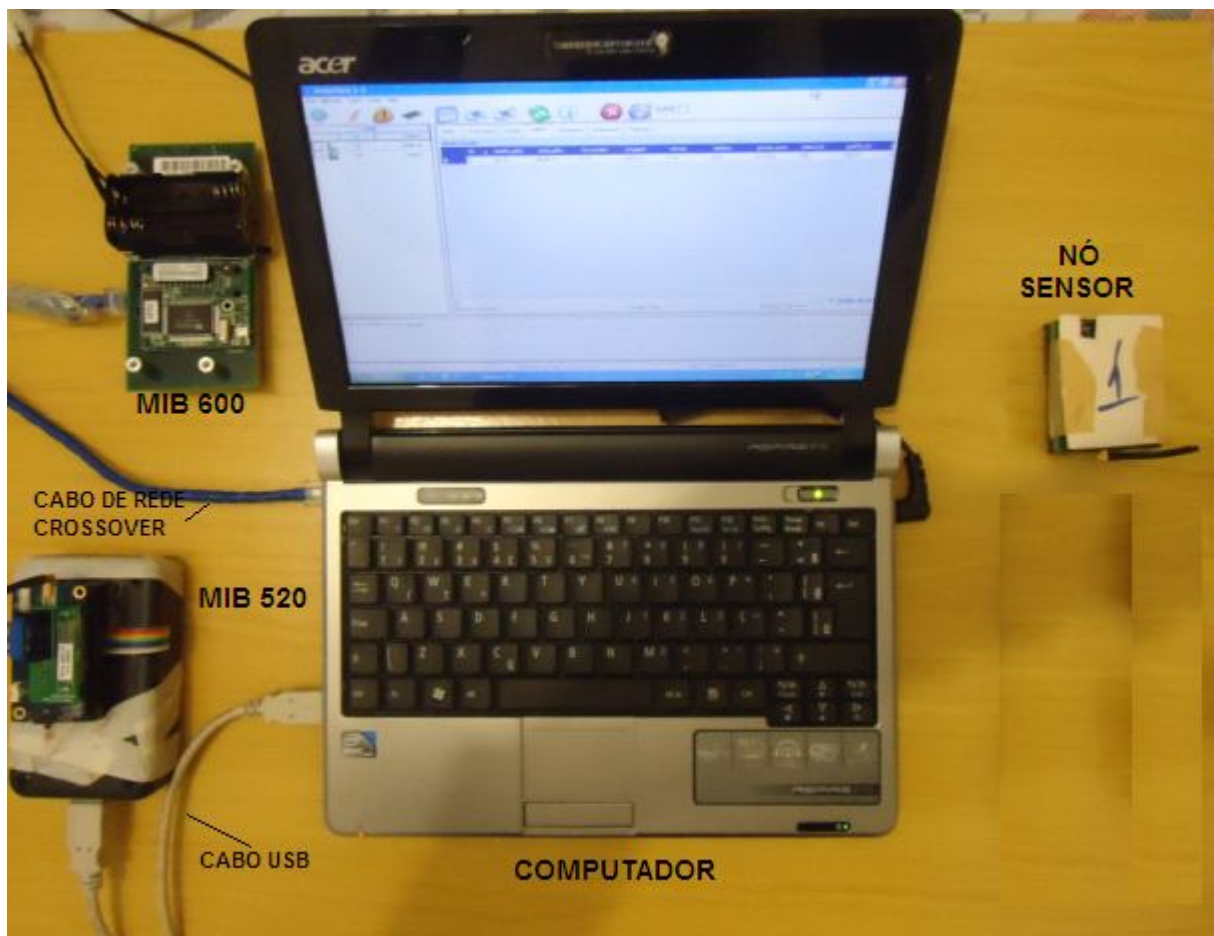


Figura 16: Kit Crossbow e Computador.

A estação Base, formada pelo computador, o MIB 600 e o MIB 520, foi instalada em um cômodo próximo da casa de vegetação (Figura 11) e fixada numa altura de 1,3 metros em relação ao piso.

5.2.1 MoteView

O software MoteView® foi desenvolvido com o objetivo de criar uma interface entre o usuário e a rede de sensores. Com ele é possível visualizar uma tabela de dados coletados pela placa de aquisição em tempo real e exportar o banco de dados (Figura 17). Também é possível observar dados sobre o desempenho da rede; perda de pacote, pacotes recebidos e reenviados e qualidade do sinal.

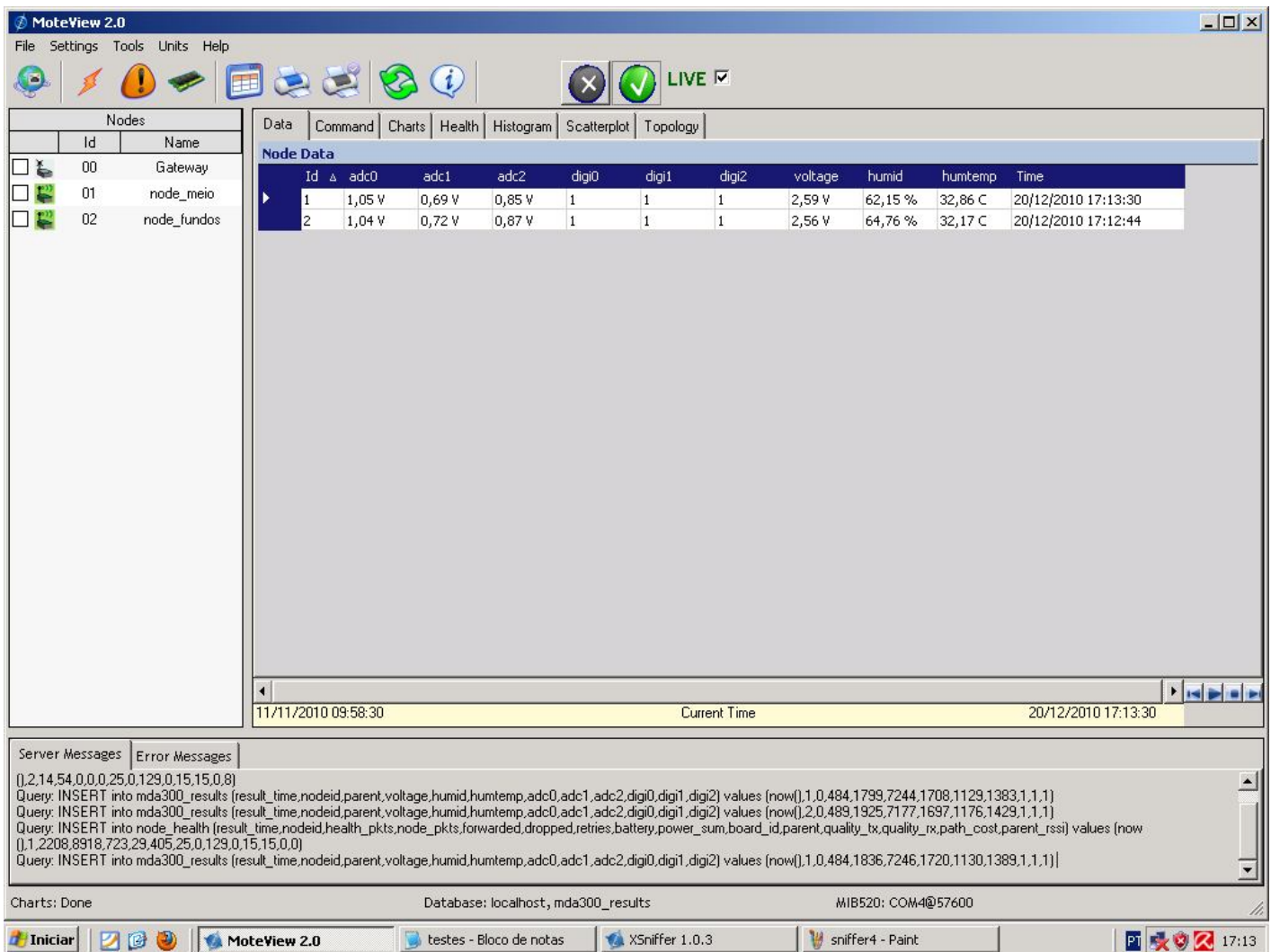


Figura 17: Layout do software MoteView®.

5.2.2 MoteConfig

O MoteConfig® fornece uma interface que possibilita a configuração dos nós sensores com relação ao canal, grupo e potência do sinal (Figura 18). Também permite a programação dos nós utilizando-se o protocolo XMesh®, disponibilizado no sistema operacional TinyOS®.

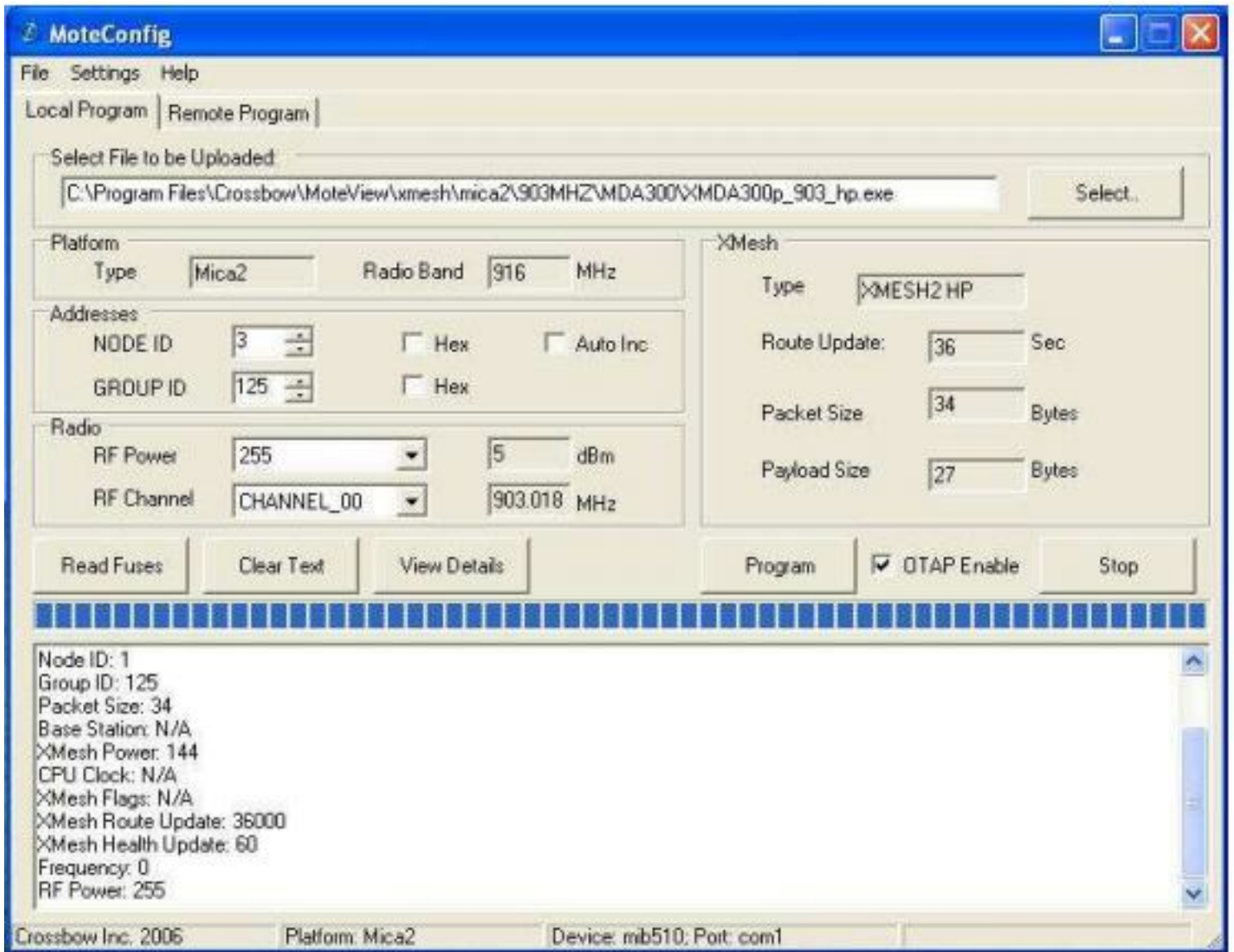


Figura 18: Layout do software MoteConfig®.

Também no MoteConfig®, além de determinar o canal da frequência, o grupo do nó sensor e configurar a plataforma, é possível estabelecer uma Potência de Sinal (RF power) que pode variar entre 3 e -17,2 dBm, como mostra a Tabela 4.

Tabela 4: Escala de valores de Potência de Sinal em dBm disponível para programação no software MoteView®.

RF Power (dBm)	Código
3,0	0
2,6	1
2,1	2
1,6	3
1,1	4
0,5	5
-0,2	6
-1,2	7
-2,2	8
-3,2	9
-4,2	10
-5,2	11
-7,2	12
-9,2	13
-12,2	14
-17,2	15

5.2.3 Placa de Aquisição MDA300CA

A placa de aquisição MDA300CA (Figura 19) foi desenvolvida para as plataformas MICA2, MICAZ e IRIS. Suas aplicações principais são:

- Instrumentação sem fio de baixa potência;
- Medição de variáveis climáticas;
- Agricultura de precisão e controle da irrigação;
- Monitoramento de ambiente;
- Análise de solo;
- Controle remoto de processos e sistemas.

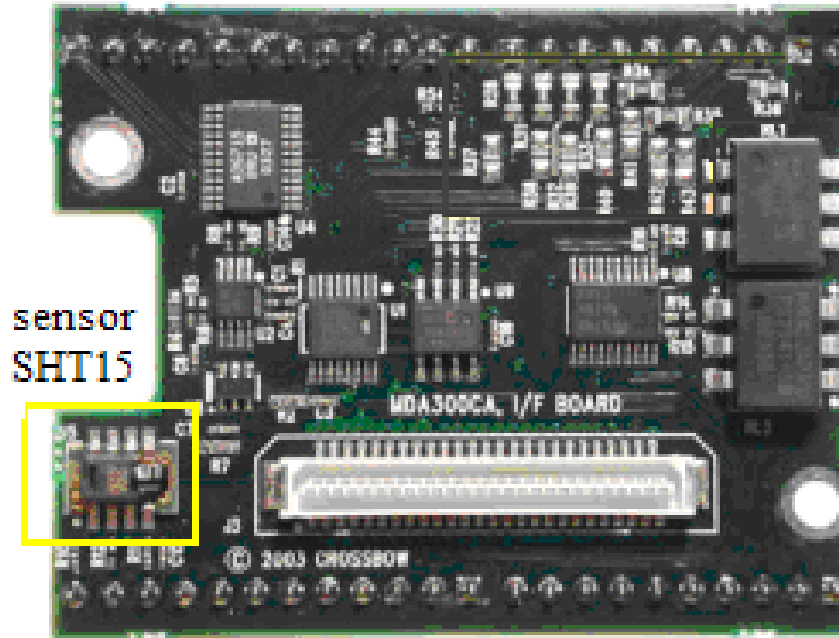


Figura 19: Placa de Aquisição MAD300CA.

A placa MDA300CA possui um sensor SHT15 da Sensirion®. Este sensor mede a umidade relativa através de um elemento capacitivo enquanto a temperatura é medida por semicondutor.

A Tabela 5 mostra quais são as características estáticas e dinâmicas dos sensores de temperatura e umidade do SHT15.

Tabela 5: Principais características do sensor STH15.

Características	Sensor	
	Temperatura	Umidade
Range	-40 a 85°C	0 a 100%
Precisão	±0,3°C	±2%
Repetibilidade	±0,1°C	±0,1%
Histerese	-	±1%
Tempo de resposta	5s	8s

Fonte: Sensirion (2003).

Alguns trabalhos fazem o uso do sensor SHT15 para medições climáticas em diversos ambientes. Arranca & Melo (2009), por exemplo, utilizaram o SHT15 como componente de um controlador projetado para um sistema hidropônico. Thanutong et al. (2010), descrevem um protótipo de data logger que utiliza o sensor SHT15, para medição de temperatura e

umidade, como uma solução de baixo custo. Já Gouveia (2009) utilizou o SHT15 como componente de uma RSSF para monitoramento ambiental.

5.2.4 Preparo do nó sensor

Antes da realização do experimento, houve uma preocupação com o preparo dos nós que seriam posicionados no interior da casa de vegetação. Isto por que, o kit fornecido pela Crossbow® não possui qualquer material de suporte ou proteção que poderiam ser utilizados em ambientes hostis para componentes eletrônicos.

Assim, para a proteção contra água e poeira foi colocado um papel branco do tipo sulfite coberto com filme plástico sobre a placa de aquisição, onde somente o sensor SHT15 ficou à mostra, como mostra a Figura 20. Sem esta proteção a placa MDA300CA ficaria completamente exposta e a presença de umidade poderia danificar o seu circuito.



Figura 20: Placa de aquisição MDA300CA com proteção na parte superior.

Para facilitar o posicionamento do nó, formado pela placa de aquisição e suporte IRIS, no interior da casa de vegetação foi adicionado um gancho feito de metal com 15 cm de comprimento (Figura 21).

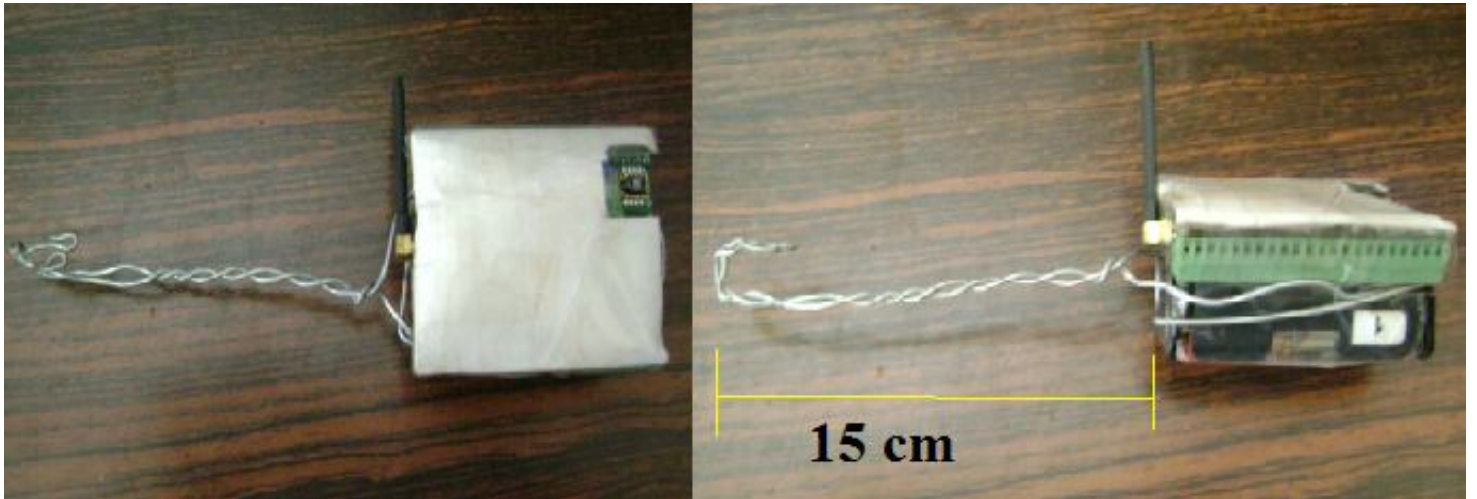


Figura 21: Nó sensor com gancho de metal.

5.3 Registro de dados Hobo WatchDog®

Para a realização de um dos experimentos foi utilizada o Hobo WatchDog® (Figura 22), que possui capacidade de registro de dados de temperatura e umidade para intervalos programáveis de 60 segundos a 1 hora.

A estação possui na sua placa um sensor de temperatura e um sensor de umidade, cujas características principais são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6: Características dos sensores WatchDog®.

Características	Sensor	
	Temperatura	Umidade
Range	-40 a 85°C	0 a 100%
Precisão	±0,6°C (-20 e 50°C)	±3%



Figura 22: Hobo WatchDog®, série 1000.

O Hobo WatchDog® possui quatro canais de entrada para a adição de outros sensores. Com ele é possível registrar modelos cerca de 10500 dados, o que corresponde a 219 dias de informações em intervalos de 30 minutos de leitura. No display é possível visualizar leituras do sensor e níveis de utilização da bateria.

Para programar os intervalo e para coletar os dados registrados na estação é necessária a instalação do software SpecWare®.

5.4 Experimentos

5.4.1 Fase 1: Alcance entre nós e estação base

Nesta etapa do projeto, objetivo era observar o alcance do sinal entre o nó (localizado no interior da casa de vegetação) e a estação base para alguns valores de Potência de Sinal (RF Power).

Para isso, um nó sensor foi posicionado no centro da casa de vegetação numa altura de 1,5 m, enquanto que a estação base, composta pelo MIB 520 e por um computador portátil, era deslocada, sempre com uma altura de 1,5 m, e a distância máxima de alcance registrada.

Com base neste resultado foram determinados os valores de Potência de Sinal que seriam analisados nas fases posteriores.

5.4.2 Fase 2: Medição do tempo de descarga da bateria em relação à Potência de Sinal.

Esta fase tem o objetivo de verificar o tempo de descarga da bateria os valores de Potência de Sinal, determinados na Fase 1.

Para isso, as potências de sinal foram programadas no software MoteConfig® para -9,2 e -12,2 dBm, sendo então realizados dois testes.

Através do software MoteView®, o nó foi configurado para fornecer dados de temperatura e umidade a cada 3 segundos.

Nesta fase foram utilizadas duas pilhas da marca Duracell do tipo AA com 1,5 V.

A estação base, composta por um computador e pelo MIB 520, foi deixada a 1 metro de distância do nó sensor.

Assim, para a determinação do tempo de descarga, o sistema programado foi deixado em pleno funcionamento até que o nó sensor parasse de funcionar.

5.4.3 Fase 3: Qualidade do Sinal entre nó e Estação Base

Este experimento teve como objetivo mostrar se o reposicionamento de um nó sensor no interior da casa de vegetação acarreta em perdas de qualidade de sinal. Além disso, foi realizada a programação do nó para mudar o valor de Potência de Sinal (-9,2 e -12,2 dBm).

A posição da estação base foi fixada em um cômodo com fonte de energia, localizado próximo à casa de vegetação.

O nó sensor foi deslocado para 7 pontos (Figura 23), sendo que em cada posição o sensor era fixado em 4 alturas, totalizando 27 pontos de medição. Na posição 4 (centro), não era possível realizar a medição a 0 m de altura, pela presença da bandeja com morangueiros.

Os pontos foram determinados para verificar a influência do ambiente e da distância nos aspectos que envolvem a qualidade do sinal. Assim, o nó sensor foi posicionado da seguinte forma:

- Pontos 1 e 2: sem nenhuma bancada entre ele e a estação base;
- Pontos 3, 4 e 5: Em locais próximos ao centro da casa de vegetação e com presença de bancada;
- Pontos 6 e 7: próximo ao sistema de resfriamento evaporativo com presença das bancadas entre nó e estação base.

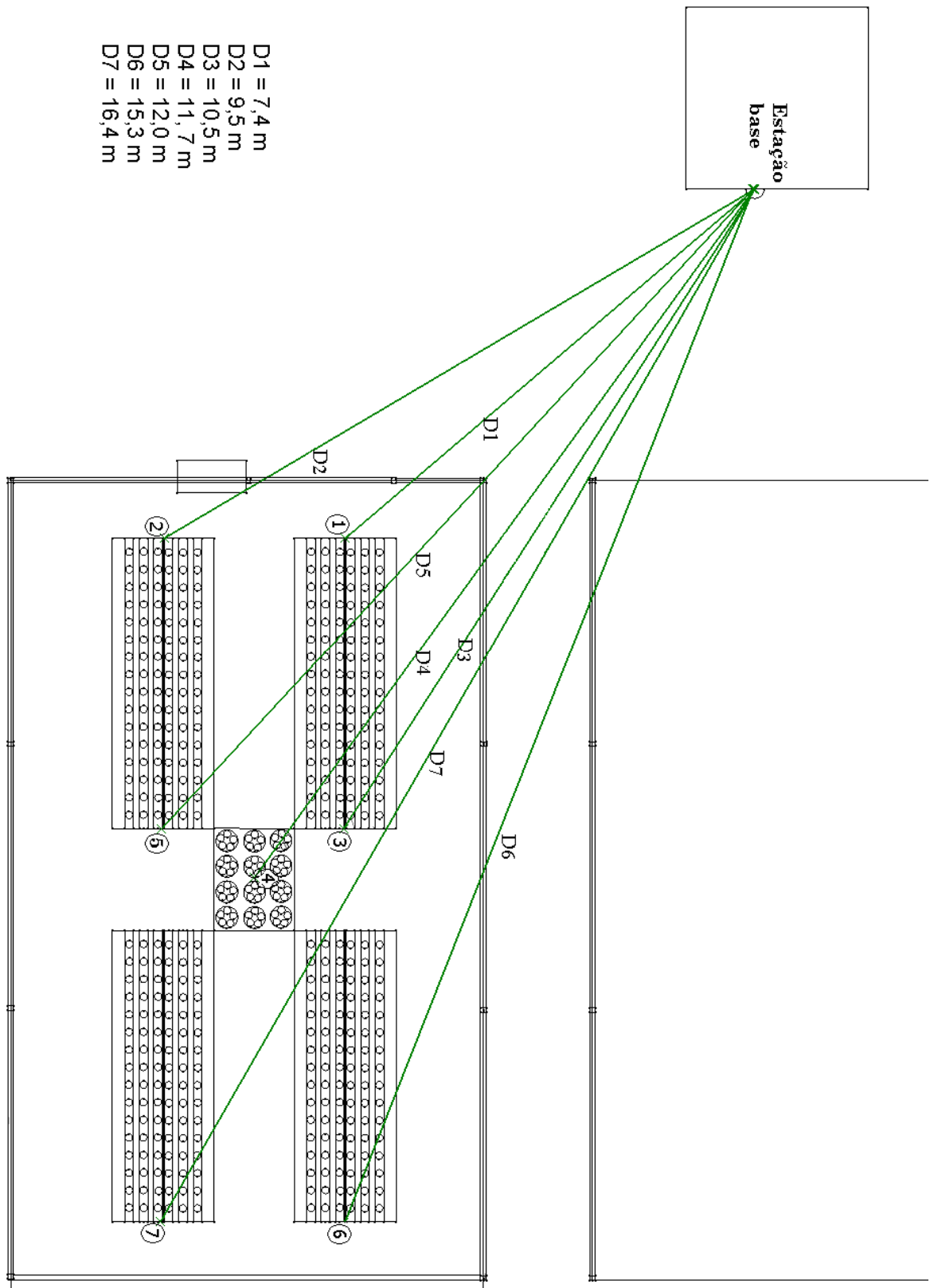


Figura 23: Pontos de Medição e Distâncias até a Estação Base.

As alturas de cada ponto de coleta de dados (0,0, 0,8, 1,3 e 2,0 m) foram escolhidas com base na estrutura da bancada e da casa de vegetação (Figura 24). Assim:

- 0,0 m: o sensor foi colocado no chão;
- 0,8 m: sensor localizado próximo da altura da segunda linha de morangueiros;
- 1,3 m: sensor foi colocado na mesma altura da Estação Base e no topo da Bancada;
- 2,0 m: o sensor foi posicionado próximo à tela de sombreamento.

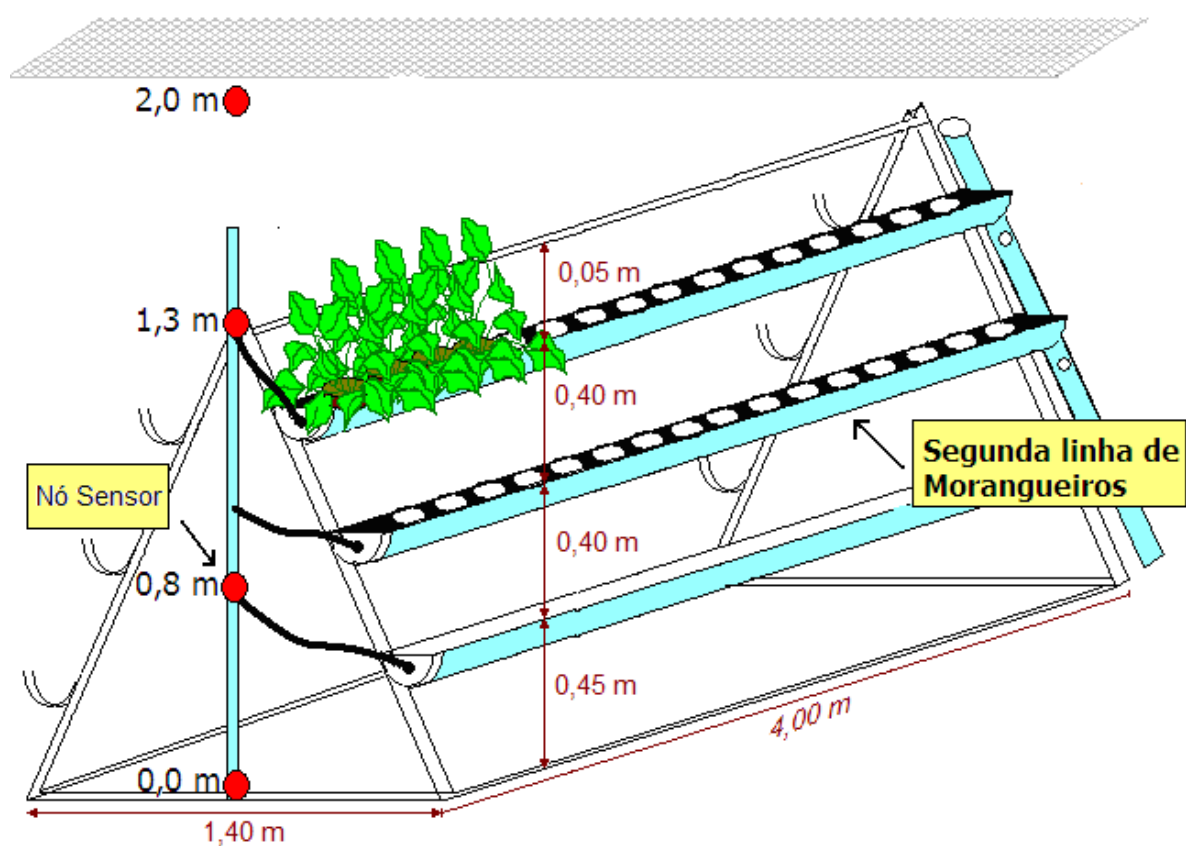


Figura 24: Alturas do nó sensor.

Em cada ponto o nó sensor permanecia fornecendo dados numa frequência de 2 minutos, durante 20 minutos. Ou seja, em cada ponto eram gerados 10 pacotes com dados que incluem dados de potencia do sinal (RSSI) e qualidade do sinal (LQI).

Com essas informações foram calculadas as médias e os desvios padrão de qualidade na transmissão e recepção do sinal (Tx, e Rx) e Indicador de Potência de Sinal Recebido (RSSI).

Todo o procedimento da Fase 3 foi realizado duas vezes para as Potências de Sinal (RF *power*) de -12,2 e -9,2 dBm.

5.4.4 Fase 4: Registro de Temperatura e Umidade Relativa

Esta fase teve como objetivo comparar os valores de temperatura e umidade relativa registrados pelo sensor SHT15, presente na placa MDA 300 CA, e pelo Hobo WatchDog®.

Para isso, o nó sensor e o Hobo foram colocados em recipiente e programados para registrar dados em intervalos de 1 minuto durante, aproximadamente, 50 horas.

Com o registro dos valores foi realizado o cálculo da média e do desvio padrão das diferenças de temperatura e umidade relativa, obtidas minuto a minuto.

6. Resultados e Discussão

São apresentados neste capítulo os resultados obtidos através da realização dos experimentos descritos no capítulo anterior

6.1 Fase 1: Alcance entre nós e estação base

Os resultados de alcance máximo entre nó e estação obtidos para os valores de Potência de Sinal (RF power) programados no Software MoteConfig® são mostrados na Tabela 7.

Tabela 7: Valores de Potência de Sinal e de Distância máxima entre Estação base e nó sensor.

RF Power (dBm)	Distância (m)
-9,2	30
-12,2	15
-17,2	5

O alcance máximo para os demais valores de Potência de Sinal, disponíveis para programação no software MoteConfig® (Tabela 4), ultrapassavam os limites da área do experimento, ou seja, seriam maiores ou iguais a 35 metros. Porém, como além desse limite o terreno era acidentado, com presença de vegetação e de estruturas metálicas, não foi possível registrar os valores de alcance máximo de sinal para toda a escala de Potência de Sinal fornecida no MoteConfig®.

Como o nó programado para uma Potência de Sinal de -17,2 dBm, o alcance máximo registrado foi de 10 m. Porém, quando a estação base era colocada de frente para a porta da casa de vegetação, este valor diminuiu para 5 m de distância. O que mostra que o material da porta (metal mais acrílico com superfície ondulada) deve influir de forma mais efetiva na atenuação do sinal. Além disso, o teste mostrou que a distância máxima para a Potência de Sinal de -17,2 dBm era insuficiente para a realização dos testes, onde o sensor era posicionado a 17 m distância da estação base.

Já o valor de -12,2 dBm mostrou valor de alcance máximo próximo do limite dos testes realizados da Fase 3. Entretanto, para uma Potência de Sinal com valor de - 9,2 dBm o alcance é quase 50% superior ao necessário.

Portanto, com base nos resultados mostrados na Tabela 7, foi determinado que os testes de qualidade fossem realizados para duas programações de Potência de Sinal: -9,2 e -12,2 dBm.

6.2 Fase 2: Medição do tempo de descarga da bateria em relação à Potência de Sinal.

Nesta etapa foram realizados dois testes para saber qual o tempo de bateria do nós sensores programados para enviar dados a cada 3 segundos e com configuração de Potência de Sinal igual a -9,2 dBm e -12,2 dBm.

O resultado obtido através dos testes é apresentado na Figura 25.

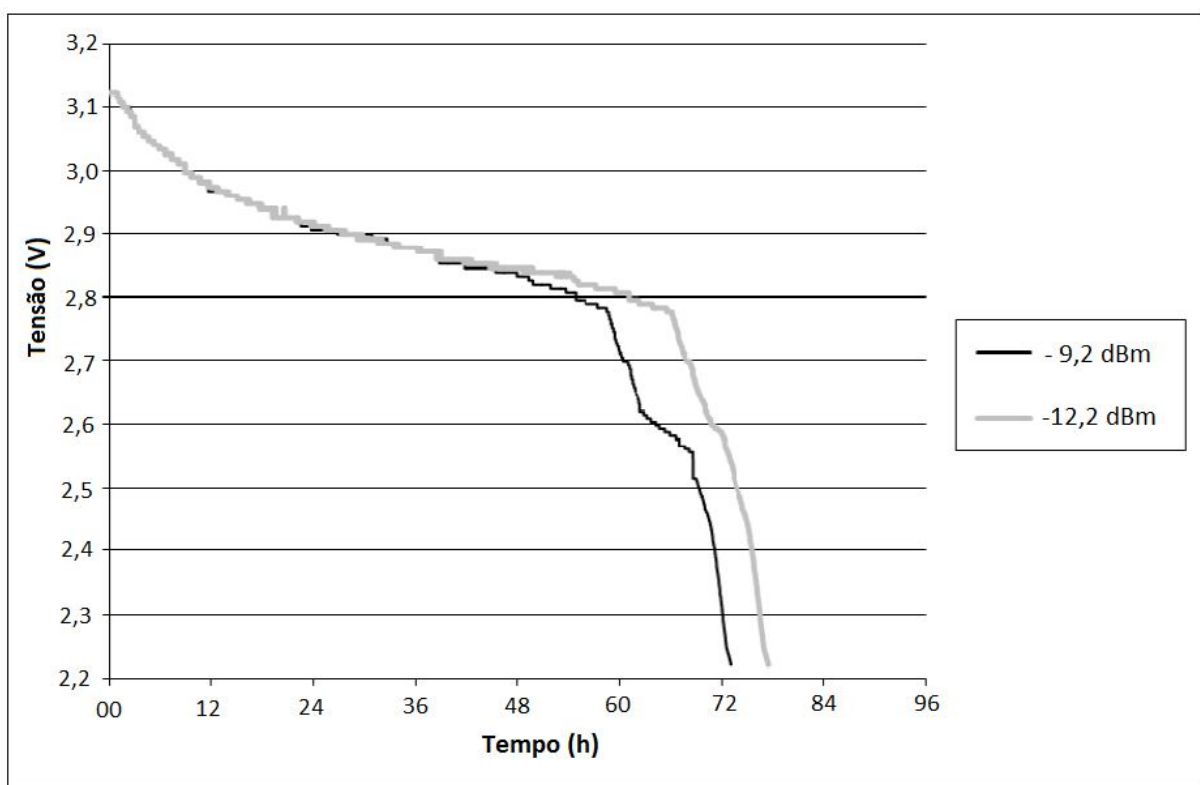


Figura 25: Tempo de descarga da bateria.

A Figura 25 mostra uma diferença de, aproximadamente 4 horas, entre a descarga da bateria para uma Potência de Sinal de -9,2 dBm e a descarga para uma Potência de Sinal de -12,2 dBm.

Assim, é observado que a utilização de uma Potência de Sinal mais baixa, nestas condições, traria economia de energia para o sistema de aquisição.

6.3 Fase 3: Qualidade do Sinal entre nó e estação base

Para realizar a aquisição de dados, em cada um dos pontos de coleta o sensor permaneceu ligado por 20 minutos. Desta forma, com o envio de pacote de dados a cada 2 minutos, foram colhidos 10 pacotes de dados por ponto. Com isso, foi possível calcular os valores da média e do desvio padrão das variáveis fornecidas pelo software MoteView®.

6.3.1 Qualidade da Transmissão

Para comparação e análise dos dados, a escala de Qualidade de Transmissão e Recepção do Sinal, que pode assumir valores entre 0 e 15 pontos, foi classificada da seguinte forma:

- Acima de 13 pontos: Muito Alta;
- Entre 12 e 9 pontos: Alta;
- Entre 8 e 5 pontos: Média;
- Abaixo de 4 pontos: Baixa.

As médias dos dados de Qualidade da Transmissão do Sinal de 27 pontos da casa de vegetação, para uma Potência de Sinal de -9,2 dBm, são mostradas na Tabela 8.

Tabela 8: Média dos dados de Qualidade da Transmissão do Sinal para Potência de Sinal de -9,2 dBm.

Altura (m)	Distância (m)						
	7,4	9,5	10,5	11,7	12	15,3	16,4
0	15	13	15	-	15	15	15
0,8	15	15	15	15	15	11	7
1,3	15	15	15	15	15	15	15
2	15	15	15	15	15	15	15

Da Tabela 8 observa-se que em duas posições, ambas a 0,8 m de altura, há queda na Qualidade da Transmissão do Sinal, que saiu da faixa de qualidade considerada “muito alta” para qualidade “alta” (valor de 11) e qualidade “média (valor de 7). Estas duas posições, além de estarem localizadas nas duas maiores distâncias em relação a Estação Base (15,3 e 16,4 metros), estavam situadas numa altura próxima à segunda linha de morangueiros.

Como, comparando com as alturas de 0, 1,3 e 2,0 metros, há um o volume maior de vegetação entre o sensor e a estação base na altura de 0,8 m, nota-se, desta forma, além da distância, o volume de plantas também contribuiu na diminuição da qualidade no sinal transmitido.

A influência do volume de vegetação na transmissão de sinal já foi testada por outros autores, para diferentes tipos de culturas. Zhang (2004), por exemplo, estudou o alcance da transmissão de um dispositivo com tecnologia Bluetooth 2.4 GHz, e encontrou para o solo nu, a soja e o milho alturas ótimas de sensores de 1,4 m, 1,7 m e 4 m, respectivamente.

Goense e Thelen (2005) mostraram que para uma lavoura de batata os sinais foram mais fracos quando houve o desenvolvimento total da planta. Neste caso, a altura do sensor era de 0,295 m.

Tate et al. (2008) posicionaram transceptores com alturas de antena de 1,5 e 2 m em um campo de milho com 2,5 m de altura e distância de 100 m. Este teste mostrou que há uma queda de potência média de sinal de 10 dBm quando os transceptores foram colocados nas linhas de plantação.

Hebel (2006) mostrou que a atenuação e sinal variância da potência eram dependentes de linha de perdas de visão e alturas menores que o raio da zona de Fresnel.

De acordo com estudos realizados por Giacomini e Vasconcelos (2006) a presença de vegetação causa diminuição na intensidade do sinal recebido. Isto pode ser contornado pelo aumento da altura das antenas de transmissão dos nós sensores e pela adequada disposição dos nós nas entrelinhas.

Os desvios padrão da Qualidade da Transmissão do Sinal recolhidos nos 27 pontos da casa de vegetação, para uma Potência de Sinal de -9,2 dBm são mostrados na Tabela 9.

Tabela 9: Desvios padrão dos dados de Qualidade da Transmissão do Sinal para Potência de Sinal de -9,2 dBm.

Altura (m)	Distância (m)						
	7,4	9,5	10,5	11,7	12	15,3	16,4
0	0	4	0	-	0	0	1
0,8	0	0	0	0	0	1	1
1,3	0	1	1	0	1	0	0
2	0	1	1	0	0	0	0

Na Tabela 9 é possível observar que somente quando o sensor estava posicionado no piso (0,0 m de altura) a uma distância de 9,5 m da Estação Base, o desvio padrão para valores de qualidade recolhidos num intervalo de 20 minutos assumiu um valor igual a 4. Assim, por causa da instabilidade da qualidade do sinal, este pode ser considerado um ponto crítico no interior da casa de vegetação.

Após reprogramar o nó para uma Potência de Sinal de -12,2 dBm, foram registrados dados de Qualidade da Transmissão do Sinal para os 27 pontos, como é mostrado na Tabela 10.

Tabela 10: Média dos dados de Qualidade da Transmissão do Sinal para Potência de Sinal de -12,2 dBm.

Altura (m)	Distância (m)						
	7,4	9,5	10,5	11,7	12,0	15,3	16,4
0	10	15	13	-	13	15	13
0,8	15	15	12	15	15	0	6
1,3	15	15	15	10	15	15	13
2	15	15	15	15	0	15	9

A Tabela 10 mostra que os valores da média de qualidade na transmissão para uma potência de -12,2 dBm são classificados como “baixo” em duas posições (a 12,0 e 15,3 m de distância) e como razoável em uma posição (a 16,4 m de distância). Assim, novamente, as duas posições mais distantes, onde o sensor foi colocado a 0,8 m de altura do piso, apresentaram valores de qualidade abaixo do registrado nos demais lugares.

Além disso, comparando com os valores obtidos na Tabela 8 com a Tabela 10, observa-se que mais pontos saíram da faixa de qualidade “muito alta” e em duas posições a qualidade do sinal chegou a assumir valores nulos (distância de 12 e 15,3 metros).

O valor nulo de qualidade assumido na posição de 12,0 m de distância e 0,80 m de comprimento é justificado pela proximidade com a tela de sombreamento e a presença da porta e de uma coluna de metal entre o ponto e a estação base.

Isso mostra que a alteração da Potência de Sinal (RF *power*) interferiu diretamente na qualidade de sinal para alguns dos pontos da casa de vegetação.

Os pontos mais afetados estão principalmente localizados nas distâncias maiores de 12 m.

Os desvios padrão da Qualidade da Transmissão do Sinal nos 27 pontos da casa de vegetação, para uma Potência de Sinal de -12,2 dBm, são mostrados na Tabela 11.

Tabela 11: Desvios padrão dos dados de Qualidade da Transmissão do Sinal para Potência de Sinal de -12,2 dBm.

Altura (m)	Distância (m)						
	7,4	9,5	10,5	11,7	12	15,3	16,4
0	7	0	5	-	6	0	4
0,8	0	0	5	0	1	0	6
1,3	0	0	0	5	1	0	5
2	0	0	0	0	0	0	5

Os valores apresentados na Tabela 11 mostram que em 11 posições, num intervalo de tempo de 20 minutos, os valores coletados de qualidade de sinal foram dispersos em relação à média. Isto ocorre com menor frequência para os desvios padrão obtidos com uma Potência de Sinal de -9,2 dBm (Tabela 9).

Ou seja, os valores de qualidade de sinal são mais estáveis quando é utilizada uma Potência de Sinal superior. Assim, é mais fácil manter o mesmo nível de qualidade de transmissão quando é utilizada a Potência de Sinal de -9,2 dBm, em comparação com a potência de -12,2 dBm.

6.3.2 Qualidade da Recepção

As médias dos dados de Qualidade da Recepção do Sinal nos 27 pontos da casa de vegetação, para uma Potência de Sinal de -9,2 dBm, são mostradas na Tabela 12.

Tabela 12: Média dos dados de Qualidade da Recepção do Sinal para Potência de Sinal de -9,2 dBm.

Altura (m)	Distância (m)						
	7,4	9,5	10,5	11,7	12	15,3	16,4
0	15	14	15	-	15	15	15
0,8	15	15	15	15	15	14	15
1,3	15	15	15	15	15	15	15
2	15	15	15	15	15	15	15

Os valores das médias da qualidade na recepção mostraram-se excelentes em todos os pontos de amostragem, sem que nenhum valor fosse afetado pela distância ou pela vegetação.

Os desvios padrão da Qualidade da Recepção do Sinal recolhidos nos 27 pontos da casa de vegetação, para uma Potência de Sinal de -9,2 dBm são mostrados na Tabela 13.

Tabela 13: Desvios padrão dos dados de Qualidade da Recepção do Sinal para Potência de Sinal de -9,2 dBm.

Altura (m)	Distância (m)						
	7,4	9,5	10,5	11,7	12	15,3	16,4
0	0	2	0	-	0	0	0
0,8	0	0	0	0	0	1	0
1,3	0	1	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0	0

Os desvios padrão mostrados na Tabela 13 mostram que em quatro pontos ocorreram valores de desvio padrão maior que zero.

A média dos dados de Qualidade da Recepção do Sinal colhidos nos 27 pontos, para uma Potência de Sinal de -12,2 dBm são mostrados na Tabela 14.

Tabela 14: Média dos dados de Qualidade da Recepção do Sinal para Potência de Sinal de -12,2 dBm.

Altura (m)	Distância (m)						
	7,4	9,5	10,5	11,7	12	15,3	16,4
0	10	15	13	-	14	15	12
0,8	15	15	13	15	14	2	10
1,3	15	15	13	11	15	15	14
2	15	12	15	15	5	15	11

Novamente, assim como ocorre entre as Tabelas 8 e 10, as Tabelas 12 e 14 mostram que ocorre um aumento do número de pontos com qualidade abaixo da classificação “muito alto”, quando o sinal é programado para uma potência de -12,2 dBm. Além disso, ocorreram diminuições significativas no valor da qualidade nos pontos localizados a 12 e 15,3 m.

A “baixa” qualidade na distância 15,3 m e 0,8 m de altura pode ser novamente justificada pela presença de vegetação.

E, semelhante ao que ocorre na Tabela 10, na posição de 12,0 m de distância e 2 m de comprimento apresenta um valor de qualidade de sinal inferior, que é classificado como “médio”. Esta situação pode ser justificada pela proximidade com a tela de sombreamento e a presença da porta e de uma coluna de metal entre este ponto e a estação base.

Os desvios padrão da Qualidade da Recepção do Sinal recolhidos nos 27 pontos da casa de vegetação, para uma Potência de Sinal de -12,2 dBm são mostrados na Tabela 15.

Tabela 15: Desvios padrão dos dados de Qualidade da Recepção do Sinal para Potência de Sinal de -12,2 dBm.

Altura (m)	Distância (m)						
	7,4	9,5	10,5	11,7	12	15,3	16,4
0	6	0	3		3	0	0
0,8	0	0	1	0	1	1	0
1,3	0	0	0	4	1	1	0
2	0	5	0	1	7	0	0

Os valores apresentados na Tabela 15 mostram que em 12 posições, num intervalo de tempo de 20 minutos, os valores coletados de Qualidade da Recepção do Sinal foram dispersos em relação à média. Isto ocorre com menor frequência para os desvios padrão obtidos com uma Potência de Sinal de -9,2 dBm (Tabela 13).

Então é mostrado, novamente, que ocorreu uma maior variação dos valores de qualidade de recepção em torno da média quando utilizada uma Potência de Sinal menor (-12,2 dBm). Assim, com esta potência é mais difícil manter a qualidade de recepção e de transmissão estabilizada, como ocorre para a potência mais alta, de -9,2 dBm.

6.3.3 Indicador de Potência de Sinal Recebido (RSSI)

A média dos dados de Intensidade de sinal recebido (RSSI) recolhidos nos 27 pontos da casa de vegetação, para uma Potência de Sinal de -9,2 dBm são mostrados na Tabela 16.

Tabela 16: Dados de Indicador de Potência de Sinal Recebido (RSSI) em dBm, para Potência de Sinal de -9,2 dBm.

Altura (m)	Distância (m)						
	7,4	9,5	10,5	11,7	12	15,3	16,4
0	-91	-91	-82	-	-91	-85	-91
0,8	-79	-73	-79	-79	-82	-91	-91
1,3	-91	-91	-91	-64	-82	-73	-91
2	-91	-91	-91	-91	-91	-91	-91

Os valores da Tabela 16 mostram que 17 das 27 posições do sensor apresentaram Indicador de Potência de Sinal Recebido mínimo de - 91 dBm..

Além disso, observando-se os dados da Tabela 16, é possível notar que não há correlação entre a distância e o Indicador de Potência de Sinal Recebido (RSSI).

A média dos valores de Indicador de Potência de Sinal Recebido (RSSI) colhidos nos 27 pontos, para uma Potência de Sinal de -12,2 dBm são mostrados na Tabela 17.

Tabela 17: Dados de Indicador de Potência de Sinal Recebido (RSSI) para Potência de Sinal de -12,2 dBm.

Altura (m)	Distância (m)						
	7,4	9,5	10,5	11,7	12	15,3	16,4
0	-91	-91	-91	-	-91	-91	-91
0,8	-78	-81	-91	-91	-91	-91	-91
1,3	-85	-81	-91	-91	-91	-91	-91
2	-91	-91	-91	-91	-91	-91	-91

Os dados da Tabela 17 indicam que das 27 posições de coleta, 23 apresentaram RSSI igual a -91 dBm. Trata-se do valor mais baixo de Indicador de Potência de Sinal Recebido

Comparando com a Tabela 16, para uma Potência de Sinal de -9,2 dBm, a diminuição da Potência de Sinal para -12,2 dBm mostrou mais pontos com RSSI mínimo.

6.4 Fase 4: Registro de Temperatura e Umidade Relativa

Para realizar a comparação entre o Hobo WatchDog® e o nó com o sensor *Sensirion* SHT15, foram obtidas as diferenças entre os dados de temperatura e umidade relativa registrados nos sensores. Assim, foi calculada a média entre essas diferenças e o desvio padrão.

Os registros de dados de temperatura e umidade relativa são mostrados nas Figuras 26 e 27.

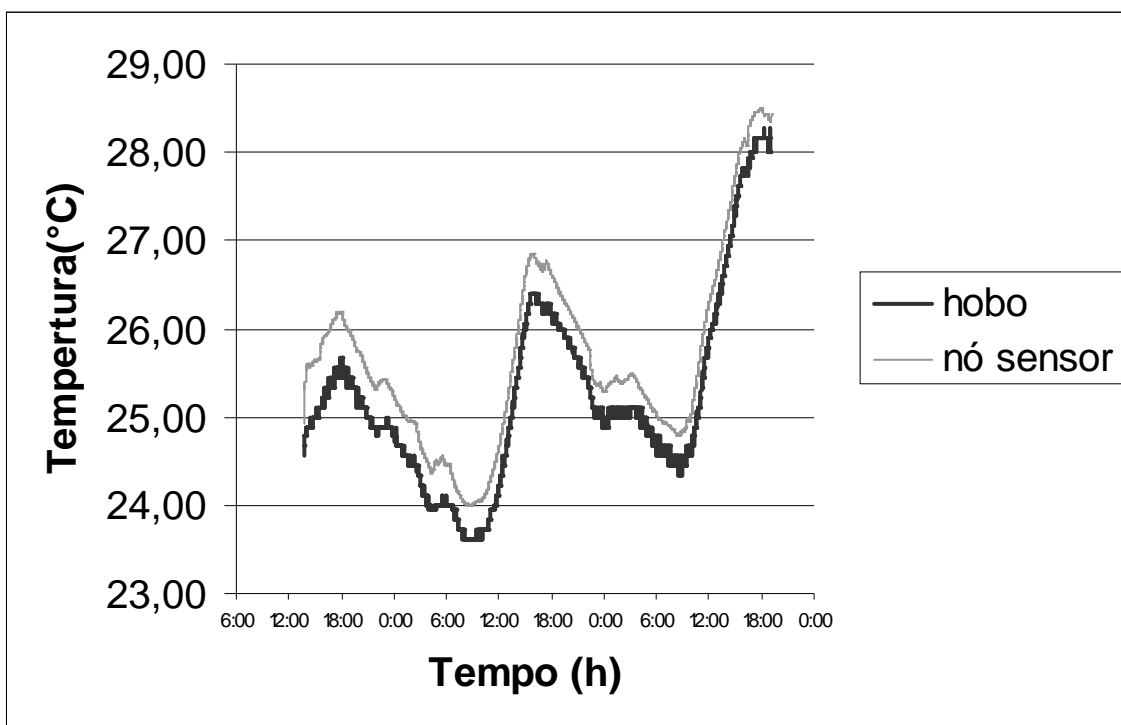


Figura 26: Dados de Temperatura ambiental coletados pelos nós sensores e pelo Hobo WatchDog®.

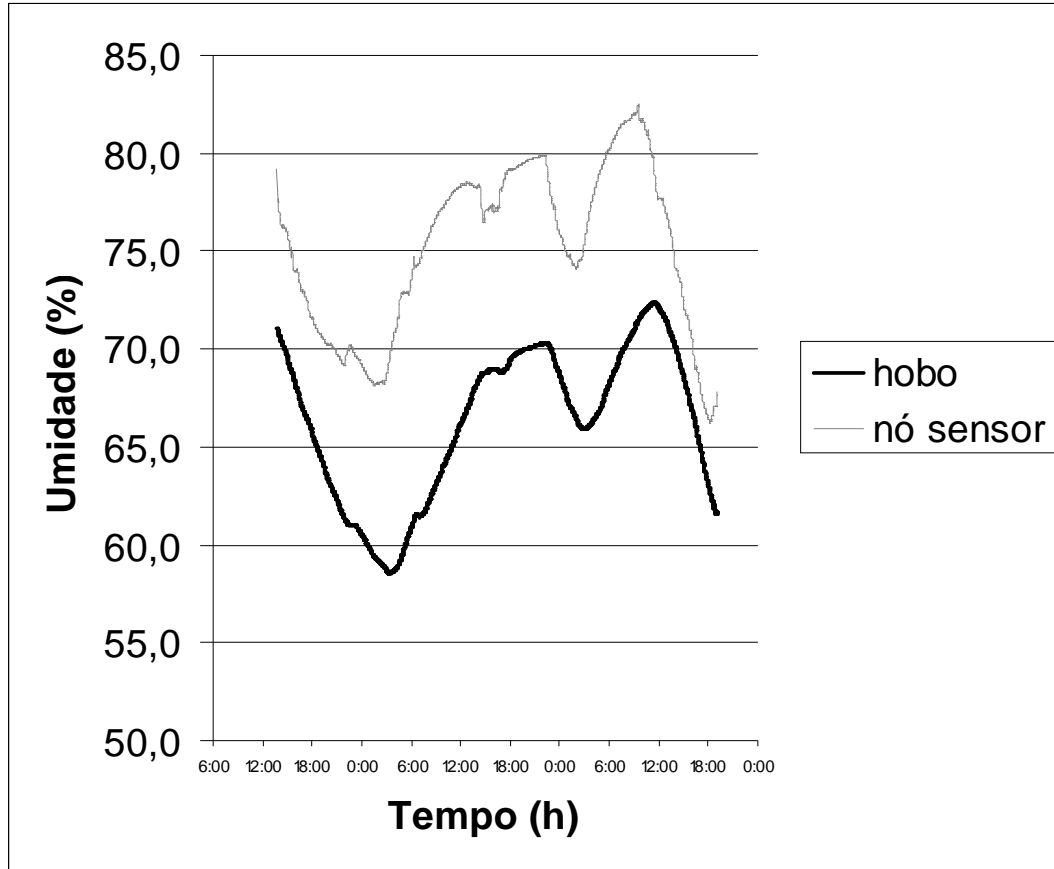


Figura 27: Dados de umidade coletados pelos nós sensores e pelo Hobo WatchDog®.

Na Tabela 18 estão listados a média aritmética, o desvio padrão das diferenças calculadas entre os dados de umidade relativa e temperatura do sensor SHT15 e do Hobo WatchDog®.

Tabela 18: Media e Desvio Padrão das diferenças entre os valores de temperatura e umidade relativa registrados no sensor SHT15 e no Hobo Watchdog®.

	Média	Desvio Padrão
Temperatura (°C)	0,42	0,10
Umidade Relativa (%)	9,00	2,86

As Figuras 26 e 27 e os valores apresentados na Tabela 18 mostram que os dados de temperatura se aproximam mais entre os sensores SHT15 e WatchDog® do que os valores de umidade, cuja diferença média é de 9,00%.

Da Figura 27 é possível observar que o comportamento geral dos gráficos é semelhante, diferenciando-se apenas a amplitude dos valores de umidade relativa.

De qualquer forma, segundo dados do fabricante, o sensor SHT15 é o mais preciso em relação ao Hobo WatchDog® tanto para umidade como para temperatura.

7. Conclusões

O equipamento foi instalado no interior da casa de vegetação e com ele foi possível coletar dados de desempenho da rede, de umidade relativa e temperatura do ar. Porém, ocorreram alguns problemas que estavam relacionados com a estrutura elétrica do local, onde não era possível deixar o equipamento ligado sem supervisão.

Algumas vezes, a reconfiguração dos nós se tornou necessária, principalmente quando a bateria do nó sensor terminava durante o seu funcionamento da rede.

Na aquisição de dados e na programação do nó sensor não ocorreram maiores problemas, pois os softwares MoteConfig® e MoteView® são fáceis de operar.

Os testes de alcance de sinal foram realizados para três níveis de Potência de Sinal e infelizmente não foi possível ampliar este número por causa do relevo que cercava a casa de vegetação. Porém, com os dados obtidos foram definidos os valores de Potência de Sinal para a realização dos testes.

Dos testes de qualidade realizados, é possível concluir que uma Potência de Sinal com valor de -12,2 dBm seria suficiente para manter a transmissão entre Estação Base e Nó Sensor.

Os experimentos realizados para uma Potência de Sinal de -9,2 dBm mostraram que a rede possuía qualidade classificada como “muito alta” na maior parte dos pontos.

Porém, através do teste de duração da bateria, nota-se que existe uma economia de energia ao utilizar a Potência de Sinal de -12,2 dBm. Entretanto, para esta Potência de Sinal deve ser observado que existem alguns pontos críticos, onde os valores da qualidade de sinal de transmissão e de recepção sofreram quedas consideráveis.

No registro do Indicador de Potência de Sinal Recebido, foi visto que não houve relação entre este valor e a distância e este manteve na maior parte dos pontos o seu valor mínimo. Isto se deve à presença de obstáculos que causaram a atenuação do sinal. Assim, numa instalação no meio agrícola, deve-se ter o cuidado com objetos que possam diminuir a potência do sinal.

Na comparação das medições entre o sensor presente no nó (SHT15 da *Sensirion*) e o Hobo WatchDog®, foi observado que os registros de temperatura se aproximaram mais que os

registros de umidade relativa, que apresentaram valores bem distintos. As diferenças apresentadas poderiam ser extremamente prejudiciais dentro de um sistema de cultivo que utiliza um controle ambiental, podendo causar problema de fungos ou estresse na planta. Assim, são necessários mais testes para verificar a causa das diferenças de amplitude na umidade relativa.

No geral, foi demonstrado que o valor da Potência de Sinal tem influência sobre a qualidade do sinal de transmissão e recepção, o gasto de bateria e o alcance do sinal. Desta forma, este é um importante parâmetro a ser considerado em um projeto de implantação de rede de sensores sem fio em casas de vegetação, onde existe a presença de vegetação como obstáculo.

8. Trabalhos Futuros

A partir desta dissertação seria interessante trabalhar com um número maior de nós sensores no interior da casa de vegetação para estudo da qualidade do sinal e do Indicador de Potência de Sinal Recebido em diferentes pontos da instalação de forma simultânea.

Além disso, também é conveniente a realização de testes com a rede de sensores sem fio para outras condições do ambiente agrícola, onde existe maior influência do meio externo.

Proponho também a construção de um sistema de controle de umidade e temperatura para casa de vegetação com o kit utilizado neste trabalho. Mas antes disso, devem ser realizados outros testes para a comparação dos valores de umidade e temperatura da instrumentação sem fio com um sensor mais preciso do que o utilizado nesta dissertação.

9. Referências Bibliográficas

ANASTASI, G; CONTI, M; FRANCESCO, M; PASSARELLA, A. Energy Conservation in Wireless Sensor Networks: a Survey. **Ad Hoc Networks**. v.7, p. 537 – 568. 2009.

ANTUNES O. T; CALVETE E. O; ROCHA H. C; NIENOW A. A; CECCHETTI D; RIVA E; MARAN R. E. Produção de Cultivares de Morangueiro Polinizadas pela Abelha Jataí em Ambiente Protegido. **Horticultura Brasileira**. Campinas, v. 25, n. 1, p. 094-099. 2007.

ARRANCA, C; MELO, J. Sistema de Controlo para Cultivos Hidropônicos. Escola Superior de Tecnologia. Engenharia Electrotécnica e Computadores. **Relatório do Projecto Final de Curso**. Setúbal. 96p. 2009.

BENAVENTE, J. C. C; CUGNASCA, C. E; MOLIN, J, P; SARAIVA, A. M. Uma Aplicação de Rede De Sensores Sem Fio para Monitoramento Ambiental em uma Cultura de Milho. In: SBIAGro: Congresso Brasileiro de Agroinformática. 7. 2009. Viçosa. **Anais...Viçosa**. v. 1. p. 1-5. 2009.

BOJACÁ, C. R; GIL, R; COOMANB, A. Use Of Geostatistical and Crop Growth Modelling to Assess the Variability of Greenhouse Tomato Yield Caused by Spatial Temperature Variations. **Computers and Electronics in Agriculture**. v.65, n.2, p. 219–227. 2009.

BROWN, B. Networking Fundamentals Network Topology. 2000. Disponível em: <http://uva.ulb.ac.be/cit_courseware/networks/pt2_0.htm> Acesso em: 01/01/2011.

BUENO S. C. S; MAIA A. H. N; TESSARIOLI NETO J. Florescimento de 17 Cultivares de Morangueiro (Fragaria X Ananassa Duch.) em São Bento do Sapucaí. In: Congresso Brasileiro de Fruticultura, 17, Belém. **Anais...SBF**. 2002. *apud* RESENDE, J. T. V. DE; MORALES, R. G. F; FARIA, M. V; RISSINI, A. L. L; CAMARGO, L. K. P; CAMARGO, C. K. Produtividade e Teor de Sólidos Solúveis de Frutos de Cultivares de Morangueiro em Ambiente Protegido. **Horticultura Brasileira**. Brasília, v.28, n.2, p.185-189. Junho, 2010.

CALVETE, E. O; NIENOW, A. A; WESP, C. DE L; CESTONARO, L; MARIANI, F; FIOREZE, I; CECCHETTI, D; CASTILHOS, T. Produção Hidropônica de Morangueiro em

Sistema de Colunas Verticais, sob Cultivo Protegido. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal. v.29, n.3. 2007.

CAMARGO FILHO, W. P.; CAMARGO, F. P. Análise da Produção de Morango dos Estados de São Paulo e Minas Gerais e do Mercado da Ceagesp. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.39, n.5, p. 42-50. 2009.

CAMILI, A. **Um Estudo sobre o Aspecto da Utilização de Redes de Sensores Sem Fio em Aplicações para Agricultura de Precisão**. 181 p. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica - Universidade de São Paulo, São Paulo. 2004. *apud* GONDA, L.; CUGNASCA, CARLOS E.; CAMILLI, A. Aplicações Agrícolas para Redes de Sensores Sem Fio. In: Congresso Brasileiro de Agroinformática. 5. 2005. Londrina **Anais...** Londrina: UEL. p 1-9. 2005.

CARRARA, M.; CATANIA, F.; PIPITONE, F.; VALLONE, M. Temperature and Relative Humidity Distribution Inside a Greenhouse Using Wireless Sensor. **Acta Horticulturae**. v.1. n. 801. p. 595 – 600. Wageningen. 2008.

CERMENO, Z. S. **Estufas, instalação e manejo**. Litexa Editora, 1990. *apud* COSTA, E. **Avaliação da Produção do Morangueiro em Sistemas Hidropônicos, Utilizando Casas de Vegetação com Diferentes Níveis Tecnológicos**. 143 p. Tese (Doutorado em Construções Rurais e Ambiente). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2004.

CHONG, C. Y; KUMAR, S. P. Sensor networks: Evolution, opportunities, and Challenges. **Proceeding of IEEE**, v. 91, n° 8, p. 1247-1256. 2003.

COCCO, C. **Qualidade Fisiológica das Mudanças na Produção de Frutas do Morangueiro**. 48 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2010.

CONTI, J. H. **Estudo de caracteres morfológicos, agronômicos e moleculares em cultivares de morango (Fragaria x ananassa Duch)**. Tese de Doutorado. Escola Superior “Luís de Queiróz”, USP- Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, Dezembro de 1998. *apud*

COSTA, E. **Avaliação da Produção do Morangueiro em Sistemas Hidropônicos, Utilizando Casas de Vegetação com Diferentes Níveis Tecnológicos.** 143 p. Tese (Doutorado em Construções Rurais e Ambientação). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2004.

COSTA, E. **Avaliação da Produção do Morangueiro em Sistemas Hidropônicos, Utilizando Casas de Vegetação com Diferentes Níveis Tecnológicos.** 143 p. Tese (Doutorado em Construções Rurais e Ambientação). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2004.

DOLUKHANOV, M., **Propagation of Radio Waves.** Moscow, Mir Publishers, 1974.

DRUEGE, U. Ethylene and Plant Responses to Abiotic Stress. **Ethylene Action in Plants,** Berlin. p.81-118. 2006 *apud* HOGAN, J.D. **Ethylene Production as an Indicator of Stress Conditions in Hydroponically-Grown Strawberries.** 71p. Thesis (Master of Science Biological). College of Marshall University. 2008.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - **FAO.** Agricultural Statistical Database. 2009.

FURLAN, R. A. **Avaliação da Nebulização e Abertura de Cortinas na Redução da Temperatura do Ar em Ambiente Protegido.** 146 p. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba. 2001. *apud* GUISELINI, C. **Microclima e Produção de Gérbera em Ambientes Protegidos com Diferentes Tipos de Cobertura.** 71 p. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba. 2002.

FURLAN, R. A.; FOLEGATTI, M. V. Distribuição Vertical E Horizontal De Temperaturas Do Ar Em Ambientes Protegidos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** Campina Grande. v. 6, n. 1. p. 93-100. Apr. 2002

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L.C.P.; BOLONHEZI, D; FAQUIN, V. **Cultivo Hidropônico de Plantas: Parte 1 - Conjunto hidráulico.** 2009. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2009_1/hidroponiap1/index.htm>. Acesso em: 5/2/2011.

GIACOMIN, J. C., VASCONCELOS, F. H. Wireless Sensor Network as a Measurement Tool in Precision Agriculture. In: Imeko World Congress - Metrology for a Sustainable Development, 18. 2006. Rio de Janeiro. p.17 – 22. 2006.

GOENSE, D.; THELEN, J. Wireless Sensor Networks for Precise Phytophthora Decision Support. In: European Conference on Precision Agriculture. 5. 2005. Prague. 9p. 2005.

GOLDSMITH, Andrea. **Wireless Communications**. 3ed. New York: Cambridge University Press, 2005.

GONDA, L.; CUGNASCA, CARLOS E. A Proposal of Greenhouse Control Using Wireless Sensor Networks. In: World Congress Conference Computers in Agriculture and Natural Resources. 4. Orlando. p.24-26. 2006.

GONDA, L.; CUGNASCA, CARLOS E.; CAMILLI, A. Aplicações Agrícolas para Redes de Sensores Sem Fio. In: Congresso Brasileiro de Agroinformática. 5. 2005. Londrina **Anais...** Londrina: UEL. p 1-9. 2005.

GOUVEIA, B. A. T. de. Dispositivos de Monitorização e Controlo Automático de Factores Climáticos em Museus. 141p. Dissertação (Mestrado Telecomunicações e Redes). Centro de Ciências Exactas e da Engenharia - Universidade da Madeira. 2009.

GUISELINI, C. **Microclima e Produção de Gérbera em Ambientes Protegidos com Diferentes Tipos de Cobertura**. 71 p. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba. 2002.

HAMRITA, T. K. ;HOFFACKER, E. C. Development of a “Smart” Wireless Soil Monitoring Sensor Prototype Using RFID Technology. **Applied Engineering in Agriculture**. v.21, n 1. p. 139-143. 2005.

HANAN, Joe J. **Greenhouse: Advanced Technology for Protected Horticulture**. 1ed. Florida: CRC Press. 1998. *apud* GONDA, L.; CUGNASCA, CARLOS E. A Proposal of Greenhouse Control Using Wireless Sensor Networks. In: World Congress Conference Computers in Agriculture and Natural Resources. 4. Orlando. p.24-26. 2006.

HAND, D.W. Effects of Atmospheric Humidity on Greenhouse Crops. **Acta Horticulturae**. v. 229, p. 143-158. 1988.

HEBEL, M. A. Meeting Wide-Area Agricultural Data Acquisition and Control Challenges Through Zigbee Wireless Network Technology. In: World Congress Conference on Computers in Agriculture and Natural Resources. 4. 2006. Orlando, FL, USA, 2006.

HOGAN, J.D. **Ethylene Production as an Indicator of Stress Conditions in Hydroponically-Grown Strawberries**. 71p. Thesis (Master of Science Biological). College of Marshall University. 2008.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS - **IAC**. Instruções Agrícolas para o Estado de São Paulo. 233 p. Boletim 200. Campinas: 1990. *apud* CAMARGO FILHO, W. P.; CAMARGO, F. P. Análise da Produção de Morango dos Estados de São Paulo e Minas Gerais e do Mercado da Ceagesp. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.39, n.5, p. 42-50. 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - **IBGE**. Censo Agropecuário do Brasil: Banco de Dados. 2006.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA - **IEA**. Banco de dados IEA. 2010.

JACKSON, T., MANSFIELD, K., SAAFI, M., COLMAN, T., ROMINE, P. Measuring Soil Temperature and Moisture Using Wireless MEMS Sensors. **Journal Measurement**. v.41, n.4. p. 381-390. 2007.

KACIRA, M; LING, P.P. Design and Development of an Automated and Non-Contact Sensing System for Continuous Monitoring of Plant Health and Growth. **American Society of Agricultural Engineers**. Turkey. v. 44, n.3. Jul. 2001.

KINNEY, P. ZigBee Technology: Wireless Control that Simply Works. In: Communications Design Conference. 2, p. 1-20. 2003.

LARANJEIRA, E. G. **Modelo Computacional para Supervisão e Controle de Casas de Vegetação**. 105 p. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiente). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2005.

LOUREIRO, A.A.F., NOGUEIRA, J.M.S., RUIZ, L.B., MINI, R.A.F., NAKAMURA, E.F. FIGUEIREDO, C.M.S. **Redes de Sensores Sem Fio**. In: Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores. 21. 2003. Natal. Anuais... Natal. p 179 – 226. 2003.

MADAIL, J. C. M; ANTUNES, L. E; BELARMINO, L. C; SILVA, B. A; GARDIN, J. A. **Avaliação Econômica dos Sistemas de Produção de Morango: Convencional, Integrado e Orgânico**. 4 p. Comunicado Técnico 181. Agriannual. Pelotas. 2008.

MANCUSO, M.; BUSTAFFA, F.A Wireless Sensor Network for Monitoring Environmental Variables in a Tomato Greenhouse. In: International Workshop on Factory Communication Systems, Torino. p. 107-110. 2005.

MARHAENANTO, B; SINGH, G. Development of a Computer-Based Greenhouse Environment Controller. In: Proceedings of the World Congress of Computers in Agriculture and Natural Resources. 3. 2002. Foz do Iguaçu. 10p. p. 136-146. 2002.

MATIJEVICS, I; SIMON, J. Control of the Greenhouse's Microclimatic Condition using Wireless Sensor Network, **Ipsi Journal**. v. 6, n. 2, p. 35-38. 2010.

MORAIS, R., FERNANDES, M. A., MATOS, S. G., SERÔDIO, C., FERREIRA, P.J.S.G., REIS, M.J.C.S. A Zigbee Multi-Powered Wireless Acquisition Device for Remote Sensing Applications in Precision Viticulture. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 62, n. 2, p. 94-106, 2008.

MORAIS, R., VALENTE, A., COUTO, C., CORREIA, J. H. A Wireless RF CMOS Mixed-Signal Interface for Soil Moisture Measurements. **Sensors and Actuators A: Physical**. v. 115, n. 2 – 3, p. 376-384. 2004.

NADIMI E.S; SOGAARD, H.T; BAK, T; OUDSHOORN, F. W. Zigbee-Based Wireless Sensor Networks For Monitoring Animal Presence And Pasture Time In A Strip Of New Grass. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 61. n.2,p.79-87, 2007.

NIKOLSKI, V. V. **Electrodinamica y Propagación de ondas de Radio**. Moscu, Editora Mir, 1976.

NUNES, E. F; CAPPELLI, N. L; UMEZU, C. K. Avaliação da propagação de sinais de radiofrequência para tecnologia ZigBee em granja de frango de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 15, n. 1, p. 102 – 107. 2011

OLIVEIRA, M. R. V. Emprego de Casas de Vegetação no Brasil: Vantagens e Desvantagens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 30, n.8, p. 1049-1060. 1995.

OMID, M.; SHAFAEI, A. Temperature and relative humidity changes inside greenhouse. **International Agrophysics**, v.19, n.2. p. 153-158. 2004.

PARK D.-H; PARK J.-W. Wireless Sensor Network-Based Greenhouse Environment Monitoring and Automatic Control System for Dew Condensation Prevention. **Sensors**. v.11, n. 4, p.3640-3651. 2011

PASSOS, F. A. **Influência de Sistemas de Cultivo na Cultura do Morango** (Fragaria X Ananassa Duch.).Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997. *apud* COCCO, C. **Qualidade Fisiológica das Mudanças na Produção de Frutas do Morangueiro**. 48 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2010.

PUCCINELLI, D; HAENGGI, M. Multipath Fading in Wireless Sensor Networks:Measurements and Interpretation. In: International Conference on Wireless Communications and Mobile Computing. 6. 2006. New York. Association for Computing Machinery. p. 1039-1044. 2006.

QUIRINO, A. J.; SILVA, R. G. Rede de Sensores Sem Fio. Centro Federal de Educação Tecnológica de Mato Grosso. Cuiabá. 8p. 2007.

RANDIN, B. Implicações do Uso de Estufa no Cultivo do Morango. In: Simpósio Nacional do Morango. 3. 2006. Pelotas. **Palestras...Pelotas**. 7p. p. 105-112. 2006.

REILLY, Al. **Temperature, Humidity, Ventilation, and Cooling: Practical Application**. In: Greenhouse Systems - Automation, Culture, and Environment. New Brunswick: NRAES, p.176-188, 1994. *apud* COSTA, E. **Avaliação da Produção do Morangueiro em Sistemas**

Hidropônicos, Utilizando Casas de Vegetação com Diferentes Níveis Tecnológicos. 143 p. Tese (Doutorado em Construções Rurais e Ambientação). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2004.

RESENDE, J. T. V. DE; MORALES, R. G. F; FARIA, M. V; RISSINI, A. L. L; CAMARGO, L. K. P; CAMARGO, C. K. Produtividade e Teor de Sólidos Solúveis de Frutos de Cultivares de Morangueiro em Ambiente Protegido. **Horticultura Brasileira**. Brasília, v.28, n.2, p.185-189. Junho, 2010.

RESENDE, J. T. V. DE; MORALES, R. G. F; FARIA, M. V; RISSINI, A. L. L; CAMARGO, L. K. P; CAMARGO, C. K. Produtividade e Teor de Sólidos Solúveis de Frutos de Cultivares de Morangueiro em Ambiente Protegido. **Horticultura Brasileira**. Brasília, v.28, n.2, p.185-189. Junho, 2010.

RUIZ-ALTISENT, M; RUIZ-GARCIA, L; MOREDA, G; LU, R; HERNANDEZ-SANCHEZ, N; CORREA, E; DIEZMA, B; NICOLAI, B; GARCIA-RAMOS, J. Sensors for product characterization and quality of specialty crops - A review. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 74, p. 176-194. 2010.

SANTOS, A. M. dos. **A Cultura do Morango**. Centro de Pesquisa de Clima Temperado. Embrapa, Brasília, 1993. *apud* COSTA, E. **Avaliação da Produção do Morangueiro em Sistemas Hidropônicos, Utilizando Casas de Vegetação com Diferentes Níveis Tecnológicos**. 143 p. Tese (Doutorado em Construções Rurais e Ambientação). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2004.

SANTOS, A. M. dos; ANTÔNIO, MARCHESE, R. de M.; WREGE, M. S. **Sistema de Produção do Morango: Irrigação e Fertirrigação**. Embrapa Clima Temperado. Versão Eletrônica. 2005. Disponível em: <http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/catalogo/tipo/sistemas/morango/cap10.htm>. Acesso realizado em 02/01/2011.

SANTOS, R. A; POTES, A. G.-, RUIZ, M. A. G; BLOCK, A. E; CÁRDENAS, O. Á; BALDIVIA, M. M; CARRILLO, S. S; MARTÍNEZ, F. O. Monitoring Physical Variables in Greenhouse Environment. In: Proceedings of Ibero-American Conference on Trends in

Engineering Education and Collaboration. 17. 2009. ISTEC General Assembly, Albuquerque, U.S.A. 2009.

SCHULZ, A. A Supremacia do NFT no Brasil. Portal de hidroponia. 2007. Disponível em: <http://www.portalthidroponia.com.br/index.php?option=com_content&task=view&id=71&Itemid=30> Acesso em: 5/2/2011.

SENSIRION. SHT1x / SHT7x Relative Humidity & Temperature Sensor System. Eggb,hlstr. 9p. 2003. Disponível em: <<http://www.parallax.com/dl/docs/prod/datast/shtx.pdf>>. Acesso em: 02/03/2010.

SERÔDIO, C; CUNHA, J. B; MORAIS, R.; COUTO, C. A; MONTEIRO, J.L. A networked platform for agricultural management systems. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 31, p. 75–90. 2001.

SPECHT, S; BLUME, R. Competitividade e Segmento de Mercado à Cadeia do Morango: Algumas Evidências Sobre o Panorama Mundial e Brasileiro. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. 47. 2009. Porto Alegre. **Palestras...** Porto Alegre, 17p. p. 1 -17. 2009

STANGHELLINI, C; JONG, T. A Model of Humidity and its Applications in a Greenhouse. **Agricultural and Forest Meteorology**. Wageningen. v. 76, n. 2, p. 129-148. 1995.

TATE, R.F.; HEBEL, M. A.; WATSON, D.G. WSN Link Budget Analysis for Precision Agriculture. In: Annual International Meeting, Providence, USA, 2008.

TAVARES, A. C. S. **Manejo da Fertirrigação e Controle da Salinidade para a Cultura do Pimentão (*Capsicum annuum*) Utilizando Medidores de Íons da Solução do Substrato**. 71 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba. 2005.

THANUTONG, P; THANAPATAY, D; KAEMARUNGSI, K. Implementation of Low Cost Data Logger Prototype Based on Embedded Web Module for Environmental Real-Time Monitoring Application. In: International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications. 25. 6p. 2010.

TSIAKMAKIS, K; MALLIOS, N; CHARALAMPIDIS, N; SPASO, M. An Improved Low Power Wireless Sensor Network Based On Zigbee For Agricultural Applications. Latest Trends On Systems. In: International Conference on Systems. 14. 2010. Greece: v. 2. p. 596-601. 2010

TUIJL, B. van; OS, E. van; HENTEN, E. van. Wireless Sensor Networks: State Of The Art And Future Perspective. **Acta Horticulturae**. Wageningen. v.1. n.801. p. 547 – 554. 2008.

URRESTARAZU, M., MAZUELA, P.C. Effect of Slow-Release Oxygen Supply by Fertigation on Horticultural Crops under Soilless Culture. **Scientia Horticultura**. v.106, n.4, p. 484-490. 2005.

XMESH USER'S MANUAL - XMESH. 132 p. 2007.

YOO, S; KIM, J; KIM, T; AHN, S; SUNG, J; KIM, D. A2S: Automated Agriculture System based on WSN, In: International Symposium on Consumer Electronics. 11. 2007,p. 20-23. 2007.

ZHANG, Z. Investigation of wireless sensor networks for precision agriculture. In: Annual International Meeting. 2004. Ottawa, Canada, 2004.

ZHU, Y. W; ZHONG, X. X; SHI, J. F. The Design of Wireless Sensor Network System Based on ZigBee Technology for Greenhouse. **Journal of Physics**. ChongQing. v.48, n. 1, p. 1195-1199. 2006.